

**CARACTERIZACIÓN DE LA COMUNIDAD FITOPLANCTÓNICA DE LA BAHÍA
DE SANTA MARTA (CARIBE COLOMBIANO)**

LINA MARÍA RAMOS ORTEGA



**UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
PROGRAMA DE BIOLOGÍA
SANTA MARTA, D.T.C.H
2005**

**CARACTERIZACIÓN DE LA COMUNIDAD FITOPLANCTÓNICA DE LA BAHÍA
DE SANTA MARTA (CARIBE COLOMBIANO)**

LINA MARÍA RAMOS ORTEGA

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar el título de
Biólogo**

Director

WILLIAM LÓPEZ BOHORQUEZ M.Sc

Asesor

LUIS ALFONSO VIDAL M.Sc



**UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA
FACULTAD DE CIENCIAS BASICAS
PROGRAMA DE BIOLOGÍA
SANTA MARTA, D.T.C.H
2005**

BB
000125
y 1

NOTA DE ACEPTACIÓN

Director de Programa

Jurado

Jurado

Santa Marta, Agosto de 2005



Fitoplancton de la Bahía de Santa Marta



.... Aunque en la vida existan obstáculos que retrasen nuestros pasos, siempre existirá una fuerza divina que te impulsará y te llevará más lejos de lo esperado...

Lina María Ramos Ortega





DEDICATORIA

Este logro tan valioso para mi vida lo quiero dedicar a:

Dios, por permitir mi existencia y proveerme de la fuerza y humildad que me mantienen en este mundo.

Mis padres María Ortega Serrano y Darwin Ramos González, por luchar incasablemente en la vida para brindarme siempre lo mejor.

Pedro, mi hermano mayor... Siempre será mi ejemplo de lucha y constancia.

Gladys, mi abuela... Por enseñarme a vivir y gozar la vida sin afanes.

Roberto José Gurrero Flórez el amigo, el novio, el esposo. Por su apoyo incondicional.

Erlenis Fontalvo Palacio y Tatiana Sierra Labastidas, dos amigas que Dios me ha regalado.



AGRADECIMIENTOS

Por toda la ayuda brindada en cualquiera de las fases de esta investigación, quiero expresar mis más sinceros agradecimientos a:

- Convenio Interinstitucional DADMA – UNIMAG y Grupo de Investigaciones Modelación de Ecosistemas Costeros, por la financiación de esta investigación.
- Personal de los Laboratorios de Biología y Fisiología, Calidad de Aguas, Microbiología y Planta Piloto Pesquera de Taganga, por el apoyo logístico.
- Estudiantes de la Unimagdalena, personal de triple A de Barranquilla y residentes del corregimiento de Taganga, por la asistencia en campo.
- Sistema de Información Geográfico del Instituto de Investigaciones Tropicales "INTROPIC" de la Universidad del Magdalena por la realización del mapa de la bahía de Santa Marta.
- Sistema Nacional de Monitoreo de Arrecifes Coralinos (SIMAC-INVEMAR) por proveer los datos de precipitación en la bahía de Santa Marta.



- Gerfried Pinto por facilitar los datos de nutrientes que se tuvieron en cuenta dentro del proyecto, como parte de su trabajo de grado.

Agradecimientos personales a:

- Roberto José Guerrero Flórez (Biólogo) por su invaluable ayuda a lo largo de este trabajo, tanto a nivel logístico en las fases de campo y laboratorio, así como aportes al manuscrito.
- Erlenis Fontalvo Palacio, Tatiana Sierra Labastidas y Borish Cuadrado Peña, por sus valiosa amistad y apoyo en los momentos decisivos de este trabajo.
- Todos aquellos docentes que aportaron en mi formación como Biólogo.
- Instituciones y personas que de una u otra manera ayudaron en la realización de este trabajo.



TABLA DE CONTENIDO

	Pag.
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	5
1.2 Justificación	8
2. OBJETIVOS	11
2.1 Objetivo General	11
2.2 Objetivos Específicos	11
3. METODOLOGÍA	12
3.1 Área de Estudio	12
3.2 Fase de Campo	14
3.2.1 Parámetros Físicoquímicos, Nutrientes y Clorofila	16
3.2.2 Variables Biológicas	16
3.2.2.1 Muestras Cualitativas	16
3.2.2.2 Muestras Cuantitativas	17
3.3 Fase de Laboratorio	17
3.3.1 Nutrientes	17
3.3.2 Biomasa Fitoplanctónica	18
3.3.3 Muestras Biológicas	19
3.3.3.1 Análisis Cualitativo	19
3.3.3.2 Análisis Cuantitativo	19
3.4 Análisis de los Datos	20
3.4.1 Estadística Descriptiva	20
3.4.2 Mapas Temáticos	20



3.4.3 Descripción porcentual	20
3.4.4 Análisis de Clasificación	21
3.4.5 Análisis de Similaridad (ANOSIM)	21
3.4.6 Análisis de Varianza (ANOVA)	22
3.4.7 Test de Tukey	24
3.4.8 Estructura de la Comunidad	24
3.4.9 Relación entre Variables	25
4. RESULTADOS	27
4.1 Comportamiento Pluviométrico	27
4.2 Físicoquímicos	28
4.2.1 Temperatura	28
4.2.2 Salinidad	28
4.2.3 Oxígeno Disuelto	29
4.2.4 pH	30
4.2.5 Transparencia	31
4.3 Nutrientes	32
4.3.1 Amonio	32
4.3.2 Nitritos	33
4.3.3 Ortofosfatos	34
4.3.4 Silicatos	35
4.4 Composición Taxonómica y Abundancia Fitoplanctónica	36
4.4.1 Abundancia de los Grupos Fitoplanctónicos	38
4.4.1.1 Agosto	38
4.4.1.2 Septiembre	39
4.4.1.3 Noviembre	39
4.4.1.4 Enero	41





4.5 Distribución Espacio-Temporal del Fitoplancton	43
4.6 Biomasa Fitoplanctónica	46
4.7 Distribución Espacial y Temporal de la Clorofila <i>a</i>	47
4.7.1 Agosto	47
4.7.2 Septiembre	48
4.7.3 Noviembre	50
4.7.4 Enero	50
4.8 Estructura de la Comunidad Fitoplanctónica	52
5. DISCUSIÓN	54
5.1 Fisicoquímicos	54
5.1.1 Temperatura y Salinidad	54
5.1.2 Oxígeno Disuelto	55
5.1.3 pH	56
5.1.4 Transparencia	56
5.2 Nutrientes	57
5.3 Composición Taxonómica y Abundancia Fitoplanctónica	59
5.4 Aporte de los Grupos Fitoplanctónicos	61
5.5 Variación Espacio-Temporal de la Comunidad	62
Fitoplanctónica	
5.6 Biomasa Fitoplanctónica	65
6. CONCLUSIONES	70
7. RECOMENDACIONES	72
8. BIBLIOGRAFÍA	74
ANEXOS	



LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Área de estudio y estaciones de muestreo.	14
Figura 2. Registros de precipitación en la bahía de Santa Marta.	27
Figura 3. Registros de temperatura en la bahía de Santa Marta.	28
Figura 4. Registros de salinidad en la bahía de Santa Marta.	29
Figura 5. Registros de oxígeno disuelto en la bahía de Santa Marta.	30
Figura 6. Registros de pH en la bahía de Santa Marta.	31
Figura 7. Registros de transparencia del agua en la bahía de Santa Marta.	31
Figura 8. Registros de concentración de amonio en la bahía de Santa Marta.	32
Figura 9. Registros de concentración de nitritos en la bahía de Santa Marta.	33
Figura 10. Registros de concentración de ortofosfatos en la bahía de Santa Marta.	34
Figura 11. Registros de concentración de silicatos en la bahía de Santa Marta.	35
Figura 12. Número de especies por grupo fitoplanctónico en la bahía de Santa Marta.	36



Figura 13. Abundancia fitoplanctónica en la bahía de Santa Marta.	37
Figura 14. Aporte de los grupos fitoplanctónicos a la abundancia en la bahía de Santa Marta.	39
Figura 15. Aporte de los grupos fitoplanctónicos a la abundancia en la bahía de Santa Marta.	41
Figura 16. Dendrograma de similaridad de Bray-Curtis.	43
Figura 17. Dendrograma de similaridad de Bray-Curtis.	44
Figura 18. Registros de clorofila a en la bahía de Santa Marta.	46
Figura 19. Distribución espacial de la biomasa fitoplanctónica en la Bahía de Santa Marta. Nivel Superficial	48
Figura 20. Distribución espacial de la biomasa fitoplanctónica en la Bahía de Santa Marta. Nivel profundo.	50
Figura 21. Número de especies fitoplanctónicas registradas en cada muestreo en la bahía de Santa Marta.	51
Figura 22. Variación temporal de la estructura de la comunidad fitoplanctónica en la bahía de Santa Marta.	52



LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Transformaciones realizadas a lo datos de clorofila *a*.

Anexo 2. Análisis de varianza de dos factores y test de comparación múltiple de Tukey.

Anexo 3. Listado taxonómico de las especies de fitoplancton registradas en la Bahía de Santa Marta.

Anexo 4. Concentraciones máximas y mínimas de clorofila *a* para diferentes regiones de la cuenca del gran Caribe y la costa Caribe colombiana.



RESUMEN

Para determinar la composición, abundancia y biomasa de la comunidad fitoplanctónica en la bahía de Santa Marta, se realizaron cuatro muestreos sistemáticos entre los meses de agosto de 2004 a marzo de 2005. Los muestreos se llevaron a cabo en 40 estaciones para estimar la biomasa fitoplanctónica y medir variables fisicoquímicas, y en 22 estaciones para establecer la composición y abundancia de la comunidad. La colecta de las muestras biológicas se realizó a través de una botella muestreadora y arrastres subsuperficiales y las variables fisicoquímicas y los nutrientes se obtuvieron por medio de sondas y análisis en el laboratorio, respectivamente. Se colectaron 388 especies de algas distribuidas en seis clases, ocho órdenes, 35 familias y 119 géneros. El género *Chaetoceros* aportó el mayor número de especies (21) al grupo de las diatomeas céntricas. Las diatomeas pennadas estuvieron representadas por el género *Nitzschia*, con 23 especies. Los géneros *Ceratium* y *Protoperidinium*, registraron 37 y 40 especies respectivamente, para el grupo de los dinoflagelados. La comunidad fitoplanctónica presentó su mayor abundancia en el muestreo de noviembre con en el nivel superficial y la menor abundancia se registró en el muestreo de enero. Se estableció que existen diferencias estadísticamente significativas entre las épocas de muestreo y entre las profundidades de muestreo. La concentración promedio de clorofila *a* en superficie, osciló entre 0,533 µg/l para el muestreo de agosto y 1,535 µg/l para los muestreos de septiembre y noviembre. Los valores promedio en el nivel profundo, oscilaron entre 0,5 µg/l para el muestreo de agosto y 1,4 µg/l en el muestreo de noviembre. el muestreo de agosto registró los valores más altos de riqueza con 218 especies y el muestreo de enero el valor más bajo con 115 especies. La máxima diversidad tanto para el nivel superficial como profundo, se registró en septiembre. El mínimo valor de diversidad se dio en enero (ambos niveles de muestreo).

Palabras Clave: Fitoplancton, biomasa, Bahía de Santa Marta.



1. INTRODUCCIÓN

La superficie de la tierra está compuesta en un 70% de agua de mar la cual contiene un rango muy amplio de plantas unicelulares, conocidas como microalgas o fitoplancton, las cuales viven a la deriva, es decir, a expensas de las corrientes y el viento. El fitoplancton se compone de un diverso grupo de organismos fotosintéticos que en algunos casos pueden alcanzar concentraciones superiores a un millón de células por litro, durante ciertos eventos de florecimiento (Dawes 1986). Los rangos de tamaño de las algas del plancton van desde menos de un micrómetro hasta más de un milímetro, presentándose categorías de acuerdo con su tamaño: el megaplancton con tamaños superiores a 200 μm , el microplancton comprendido en el rango de 20-200 μm , el nanoplancton de 10-20 μm , el ultraplancton de 2-10 μm y el picoplancton conformado por células menores a 2 μm . El picoplancton y ultraplancton tienden a ser más comunes en aguas oceánicas que en aguas costeras, mientras que el nanoplancton y microplancton, tales como diatomeas y dinoflagelados, tienden a dominar las aguas costeras (Graham & Wilcox 2000).



Las algas no corresponden a ninguna categoría taxonómica, dado que incluyen un diverso grupo de organismos con algunas características comunes basadas en pigmentos fotosintéticos, estructuras celulares, disposición de las células, pared celular, tamaño celular, forma de nutrición, presencia o ausencia de un núcleo, movilidad, morfología y ecología. Dentro de los pigmentos fotosintéticos se pueden nombrar, clorofilas *a*, *b*, y *c* (generalmente verde), carotenoides (marrón y amarillo) y ficobilinas (varios pigmentos incluyendo rojo y azul). Desde el punto de vista sistemático, el fitoplancton está integrado por varias clases de algas, entre las que se encuentran diatomeas, dinoflagelados, cianofíceas, algunas clorofíceas, silicoflagelados, cocolitofóridos, entre otros (Dawes 1986).

Todos estos grupos fitoplanctónicos pueden variar grandemente en el ambiente marino. Estos organismos pueden ser selectivos de hábitats particulares y de condiciones físicas y químicas especiales. Factores importantes para el crecimiento microalgal son los nutrientes y la disponibilidad de la luz. Es así como el nitrógeno y el amonio son los principales nutrientes para muchas especies; el silicio es requerido para la formación de pared celular, o esqueleto externo, en diatomeas. En muchos casos, la disponibilidad de luz confina el crecimiento sólo en los límites de la zona fótica, cerca de la superficie. Las poblaciones también pueden decrecer



dependiendo de la cantidad de pastoreadores o hundimiento de las células (Martin 1995).

La temperatura cumple un papel fundamental en lo que se refiere al control de tasas de procesos metabólicos. Ciertas especies requieren temperaturas específicas para el crecimiento y reproducción. El desarrollo de diferentes capas en la columna de agua debido a las diferencias de temperatura y densidad puede tener como resultado unas altas concentraciones de poblaciones locales (Martin 1995). Otro factor muy importante que determina las concentraciones del fitoplancton, son las corrientes, que influyen en la distribución de la salinidad y la temperatura; en algunos casos puede tener incidencia en los nutrientes dado que éstos son llevados a la superficie, lo que representa un mayor aprovechamiento por parte del fitoplancton (Tait 1987).

Las unidades básicas de una comunidad están representadas por las especies, cuyas interrelaciones le otorgan una cierta estructura, la que se ve afectada por diversos factores que alteran las relaciones cualitativas y cuantitativas del conjunto (Ariyadej *et al* 2004). Una comunidad fitoplanctónica es entonces susceptible a cambios en su microambiente, surgiendo numerosas fluctuaciones cuyo resultado es la respuesta integral a las alteraciones del medio, así como de los mismos



factores intrínsecos de las especies u organismos (Santoyo & Signoret 1977). Las respuestas del plancton a los cambios ambientales que ocurren en el transcurso de un año son rápidas y evidentes. En las regiones templadas y polares, las pronunciadas variaciones anuales de la temperatura y la duración del periodo diario e iluminación figuran entre los factores que más influyen sobre las comunidades planctónicas. En latitudes tropicales, donde la luz y la temperatura son relativamente constantes en el curso del año, las variaciones estacionales del plancton dependen del efecto de las precipitaciones y muy especialmente, del régimen anual de vientos (González 1988).

En el caribe colombiano se han identificado seis áreas críticas por contaminación de las aguas costeras y estuarinas, siendo la Ciénaga Grande de Santa Marta y la Bahía de Santa Marta unas de las zonas más afectadas (Invemar 2003). La calidad ambiental de esta última presenta actualmente una fuerte influencia generada por diferentes fuentes poluentes, principalmente las descargas del emisario submarino, la actividad del puerto y las descargas del río Manzanares (Invemar 2003). Se asume que todas estas fuentes de polución pueden generar algún tipo de impacto sobre las comunidades biológicas, en especial sobre el fitoplancton, que responde rápidamente a cambios físicos (pH, temperatura, turbidez) y químicos (concentración de nutrientes) en el medio acuático. Según Reynolds (1987), estos



son los dos grupos de factores que determinan la estructura de la comunidad fitoplanctónica (estrés relativo al recurso y mezcla hidráulica), y debido a sus ciclos de vida cortos, las alteraciones del medio repercuten casi de manera inmediata sobre ésta.

Mediante este trabajo, se pretende identificar cuál es el patrón de variación espacial y temporal de la composición, abundancia y biomasa del fitoplancton en la bahía de Santa Marta y sí existe influencia de las tres principales fuentes de contaminación identificadas por (Invemar 2003) sobre los patrones de variación espacial y temporal del fitoplancton.

1.1 Antecedentes

A nivel mundial son diversos los trabajos en taxonomía, distribución y ecología del fitoplancton. Para zonas templadas se ha hecho énfasis en las variaciones del fitoplancton de acuerdo con las estaciones, como los realizados por Lehman & Smith (1991) y Soto *et al* (1993). La biomasa y la productividad del fitoplancton se han estudiado en diversos estuarios y costas del mundo por varios autores, entre los cuales se destacan Cloern *et al* (1989), Lara-Lara *et al* (1990), Marshall & Alden (1990) y Campbell *et al* (1991). Otro aspecto estudiado con énfasis en aguas templadas, son las variables fisicoquímicas que regulan las densidades



fitoplanctónicas: Harrison *et al* (1990), Fichez *et al* (1992), Magnien *et al* (1992) y Carlsson & Graneli (1993), explican la relación nitrógeno-fósforo y el comportamiento de los nutrientes en la columna de agua en zonas costeras.

Para zonas tropicales, los trabajos realizados con el fitoplancton enfatizan sobre descripciones taxonómicas en las costas de Puerto Rico (Margalef 1957) y el Este de Venezuela (Halim 1967). Otro aspecto estudiado, son las posibles relaciones de la comunidad con el ambiente según lo reportado por Licea-Durán (1974) en la laguna de Agiapambo (México) y Santoyo & Signoret (1979) en la laguna del mar muerto (México). También se destacan los estudios cualitativos y cuantitativos tales como Gómez-Aguirre (1974a), estudiando la variación estacional del fitoplancton en la laguna de Términos (Campeche) y Feraz-Reyes (1992) en la ensenada de Canguas (Península de Peria, Venezuela).

En el caribe colombiano se destacan los trabajos realizados por Acleto (1973), reportando algunas especies de Cianófitas para la costa norte de Colombia; posteriormente para la bahía de Cartagena Arosemena (1973), da a conocer algunos dinoflagelados y diatomeas; Gómez (1974b), presenta algunas notas generales del plancton; Vidal y Carbonell (1977), describen las diatomeas y dinoflagelados de la bahía de Cartagena; Arias y Durán (1982), describen la



variación anual del fitoplancton en la bahía de Cartagena; Carbonell (1982), se centra en el estudio de las especies del género *Ceratium* de las islas del Rosario; Márquez y Herrera (1986), estudiaron la abundancia, composición y distribución del fitoplancton en el archipiélago de San Andrés; Franco *et al* (1992), realizó un estudio semicuantitativo y cualitativo del plancton superficial en la isla del Tesoro en el PNN Corales del Rosario; Duarte (1996), analizó la estructura de la comunidad fitoplanctónica del noroeste de la Guajira.

Para la zona costera de la región de Santa Marta, se reportan trabajos como el de Caicedo (1977), quien realizó un estudio preliminar sistemático y ecológico del fitoplancton en la bahía de Neguanje; Díaz-Merlano (1990), realizó un esquema general de las características ecológico-ambientales de los sistemas costeros de la región Caribe colombiano; Torres *et al* (1993), realizaron una caracterización cuantitativa y cualitativa del fitoplancton en la bahía de Gayraca; De la Hoz (1995), estudió la variación espacial y temporal del fitoplancton en la bahía de el Rodadero; Tigreros (2001), realizó una valoración bioquímica del fitoplancton marino en dos ambientes costeros del Caribe Colombiano; Franco (2001), evaluó el flujo de carbono entre el fitoplancton, seston total y *Eucalanus* spp. en dos ambientes oceanográficos del Caribe central Colombiano; Barragán *et al* (2003), relacionaron la biomasa fitoplanctónica con la dinámica fisicoquímica y meteorológica de la



bahía de Gaira; Campos *et al* (2004), evaluaron la dinámica de la biomasa del fitoplancton y su relación con la oceanometeorología de la bahía de Gaira; Franco (2005), realizó un análisis integrado de aspectos oceanográficos de la bahía de Gaira.

1.2 Justificación

La actual política ambiental de zonas costeras a nivel nacional, resalta la necesidad de obtener información que permita identificar y cuantificar las principales fuentes y efectos de las actividades humanas sobre la estructura y dinámica de los ecosistemas marinos, de tal forma que sea posible establecer posibles soluciones a una parte de los problemas relacionados con la contaminación marina (Invemar 2003).

En la Bahía de Santa Marta se han realizado varios estudios sobre sus características fisicoquímicas y comunidades biológicas, sin embargo adolecen de un análisis sistemático que permita clarificar sus patrones de variación espacial y temporal y su relación con las fuentes de polución que afectan las comunidades bióticas.



Existen algunas razones que hacen al fitoplancton un grupo importante para su estudio en ecosistemas marinos (Martin 1995):

1. Las algas juegan un papel muy importante en la producción de oxígeno y otros materiales orgánicos.
2. Ellas sirven de alimento de otras especies tales como protozoos, rotíferos, copépodos, cladóceros, eufácidos, bivalvos y varios peces como arencas y aun de algunas ballenas.
3. Las algas son el primer escalón en el sistema de transferencia de energía a través de las redes alimenticias acuáticas. Todos los animales acuáticos, tanto en agua dulce como salada, requieren de estas pequeñas plantas para mantener su existencia.
4. Las algas son más o menos apropiadas como gran indicador biótico de cambios ambientales y/o alteraciones inducidas por humanos.

Actualmente es poca la información que se tiene sobre la estructura de la comunidad planctónica en la Bahía de Santa Marta y especialmente sobre la fracción vegetal, el fitoplancton. Teniendo en cuenta que la bahía de Santa Marta tiene un uso múltiple al ser la base de actividades económicas, actividades con fines recreacionales, además de su importancia ambiental, este tipo de estudios



son de relevante importancia para obtener herramientas que permitan diseñar estrategias de manejo y conservación.

El presente estudio hizo parte del proyecto "*Estudio de la calidad del agua en la bahía de Santa Marta, un análisis histórico y geoestadístico dirigido a un plan de monitoreo*", adelantado por el Grupo de Investigación en Modelación de Ecosistemas Costeros, en el marco del convenio de cooperación técnica y financiera entre la Universidad del Magdalena y el Departamento Administrativo del Medio Ambiente - DADMA.



2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Determinar la composición, abundancia y biomasa de la comunidad fitoplanctónica de la bahía de Santa Marta.

2.2 Objetivos Específicos

- Conocer la composición taxonómica de la comunidad fitoplanctónica en la bahía de Santa Marta.
- Establecer los patrones de variación espacial y temporal en la composición y abundancia del fitoplancton en la bahía de Santa Marta.
- Determinar los patrones de variación espacial y temporal en la biomasa del fitoplancton medida como concentración de clorofila.



3. METODOLOGÍA

3.1 Área de Estudio

La bahía de Santa Marta (BSM) se encuentra entre $11^{\circ}13'00''$ y $11^{\circ}15'30''$ N y $74^{\circ}12'30''$ y $74^{\circ}14'30''$ W, el área superficial es de 5 km^2 aproximadamente (Figura 1), con profundidades media y máxima de alrededor de 20 y 60m, respectivamente. Su conformación es abierta y su línea costera está limitada al norte y al sur por formaciones rocosas y en su parte central predomina una playa arenosa. (Herman 1970).

El régimen climático regional comprende una época lluviosa de Junio a Noviembre y otra de sequía de Diciembre a Mayo, durante la cual se presenta la influencia de los vientos alisios del noreste, con una velocidad media de 6,0 m/s y rango de variación de 0,3 – 12 m/s (Andrade 1993; Cabrera & Donoso 1993), que influye notoriamente sobre el clima e hidrología del área debido a la configuración de la costa y a la orientación, intensidad y constancia de los vientos Alisios, se presenta un evento de surgencia local moderado, durante la época seca. Se considera moderado, pues las masas de agua emergentes no tienen características de aguas profundas sino subsuperficiales y, por lo tanto, su carga de nutrientes no





es alta. Estas masas de agua que llegan a la costa están caracterizadas también por tener una salinidad un poco más alta que en otras épocas del año; igualmente, la temperatura es un poco más baja que en masas de agua subsuperficiales y en comparación con otras épocas del año (Blanco 1988).

La única descarga continental directa es el río Manzanares con un caudal medio de $1,98 \text{ m}^3/\text{s}$ (Marín *et al* 2004). A su vez, la bahía de Santa Marta recibe gran parte de los desechos domésticos, industriales y portuarios provenientes de la ciudad de Santa Marta (Ramírez 1990a); actualmente las aguas servidas (650 l/seg) son descargadas al mar a través de un emisario submarino, con un tratamiento preliminar de remoción de más del 90% de los sólidos de gran tamaño. El objetivo del emisario es lograr la dilución del agua residual en el agua de mar (Metroagua 2003).

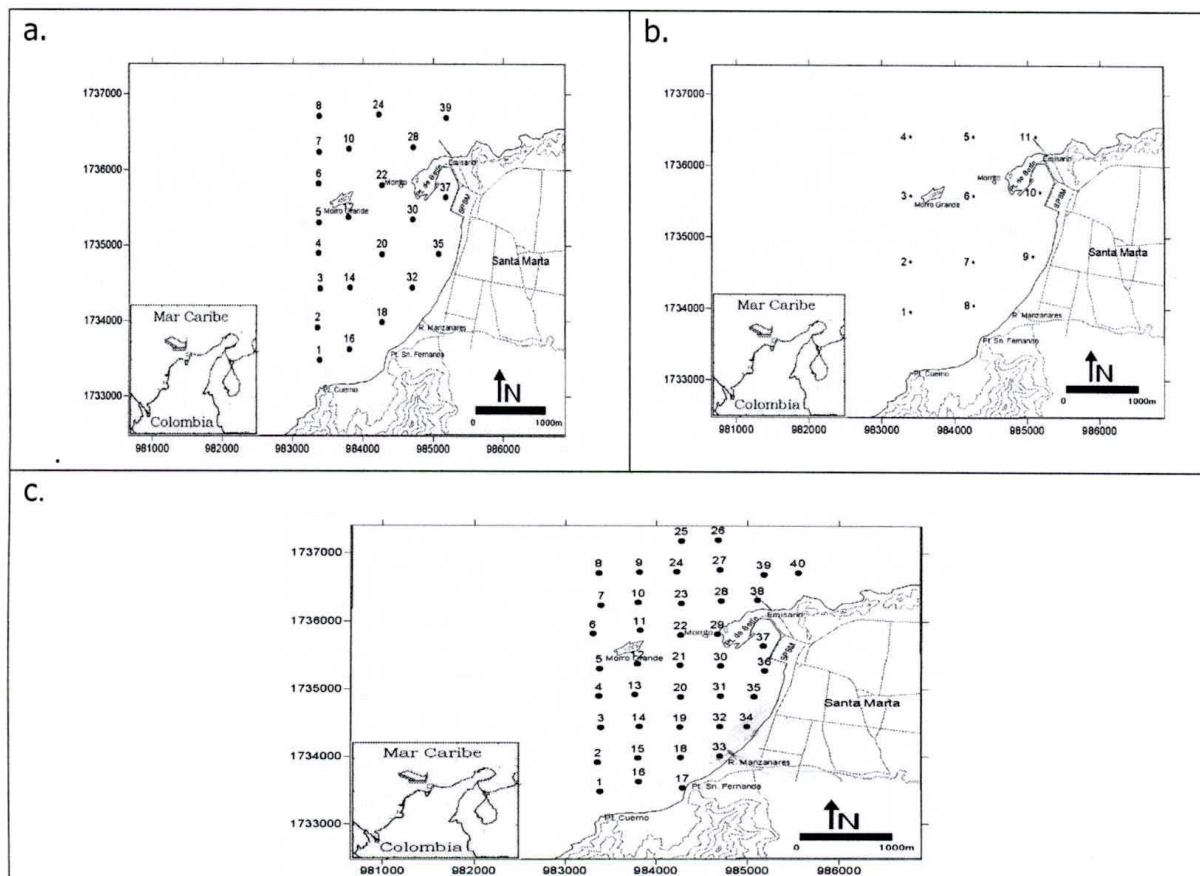


Figura 1. Área de estudio y estaciones de muestreo. a) Red de muestreo para fitoplancton de botella. b) Red de muestreo para arrastres superficiales. c) Red de muestreo de parámetros fisicoquímicos, nutrientes y clorofila.

3.2 Fase de Campo

Con el fin de evaluar aspectos biológicos y fisicoquímicos en la bahía de Santa Marta, se establecieron de forma sistemática 40 estaciones de muestreo con un área de 400 m² cada una, atendiendo a características como flujo de corrientes, régimen de vientos y aportes continentales. Además, se seleccionaron dos profundidades de muestreo: un metro bajo la superficie y 20m (profundidad media



de la bahía de Santa Marta). Las estaciones 32, 33, 34, 35, 36 se localizan en aguas someras (2-5 m), por consiguiente la segunda profundidad de estas estaciones varió. Para cubrir las épocas predominantes del área: a) una época seca de diciembre a abril; b) una época lluviosa de septiembre a noviembre y el período de transición climática entre las dos épocas anteriores comprendido entre mayo y agosto (Blanco 1988); se realizaron cuatro muestreos en intervalos de 45 días aproximadamente como se indica abajo. El desplazamiento hasta las estaciones de muestreo se realizó en lancha, ubicando cada una de las estaciones con ayuda de un geoposicionador satelital marca GPS-Magellan 315.

Muestreo I	Agosto 12/04
Muestreo II	Septiembre 30/04
Muestreo Anexo*	Octubre 15/04
Muestreo III	Noviembre 25/04
Muestreo IV	Enero 13/04
Muestreo Anexo*	Marzo 9/04

*Corresponden a salidas de campo no estipuladas por el proyecto, pero de las cuales se extrajo información de parámetros fisicoquímicos.



3.2.1 Parámetros Fisicoquímicos, Nutrientes y Clorofila

En cada una de las estaciones y profundidades (Figura 1c), se colectaron muestras de agua mediante botella tipo van Dorn con capacidad de tres litros. *In situ* se registraron los valores de temperatura, oxígeno disuelto, pH, salinidad y transparencia del agua (Disco Secchi). La temperatura y el oxígeno se midieron con un Oxímetro 315i WTW, la salinidad con un conductivímetro 315i WTW y el pH con un potenciómetro 315i/Set WTW. Las muestras de agua se colectaron en recipientes plásticos de 2,5 litros de capacidad, con previa rutina de limpieza, y se transportaron en condiciones de oscuridad y refrigeración para su análisis en laboratorio.

3.2.2 Variables Biológicas

3.2.2.1 Muestras Cualitativas

Con el fin de registrar la composición taxonómica de la comunidad fitoplanctónica de la bahía de Santa Marta, se realizaron 11 arrastres superficiales a baja velocidad y por tres minutos (Figura 1b). Se utilizó una red con diámetro de poro de 64µm y diámetro de aro de 25 cm. Las muestras se colectaron en frascos plásticos de 500ml y se preservaron *in situ* con una solución Transeau (seis partes de agua destilada, tres partes de alcohol al 90 % y una de formol concentrado) en proporción 1:1.



3.2.2.2 Muestras Cuantitativas

Para estimar la abundancia fitoplanctónica en la bahía de Santa Marta, se seleccionaron 22 estaciones de las 40 que conformaron el área de estudio (Figura 1a); atendiendo al mismo criterio con el cual se seleccionaron la totalidad de estaciones. Se tomó un litro de muestra en cada estación, en las profundidades establecidas, por medio de la botella Van Dorn y se preservó con solución Transeau.

3.3 Fase de Laboratorio

3.3.1 Nutrientes

Las muestras de agua se pasaron a través de un filtro de fibra de vidrio microporo Whatman GF/C 47mm de diámetro con la ayuda de una bomba de vacío. Se prepararon diferentes soluciones estándares para realizar una curva de calibración y obtener la concentración del nutriente en las muestras de agua. La concentración de los diferentes nutrientes se determinó espectrofotométricamente empleando métodos colorimétricos: Azul de indofenol para Amonio, Ácido ascórbico para Ortofosfatos, el método de Koroleff para Silicatos y el método de la Sulfanilamida para Nitritos, descritos en Garay - Tinoco *et al* (2003).



3.3.2 Biomasa Fitoplanctónica

Con el fin de estimar la biomasa fitoplanctónica en la bahía de Santa Marta expresada como concentración de clorofila *a*, se pasaron dos litros de agua a través de un filtro de fibra de vidrio microporo Whatman GF/C 47mm de diámetro con la ayuda de una bomba de vacío, y agregando unas gotas de carbonato de calcio para evitar la acidificación de la muestra (este procedimiento se realizó de manera casi inmediata después de la colecta en campo, para evitar la alteración de los resultados). Los filtros se recogieron en papel aluminio y se conservaron a -20 °C hasta su posterior análisis (un tiempo no mayor a 8 días). Para la extracción de los pigmentos se utilizó acetona al 90%, los filtros se maceraron y se almacenaron por 24 horas en refrigeración (4°C) y en la oscuridad; pasado este tiempo se centrifugaron las muestras a 1000 rpm durante 10 minutos. Se realizaron lecturas de absorbancia a 630, 645, 663, y 750 nm utilizando un espectrofotómetro GENESYS 10UV Thermospectronic. La lectura a 750 nm sirve como una corrección para turbidez, y a 663, 645 y 630 nm sirven para la determinación de clorofila *a*, *b* y *c*, respectivamente; técnica descrita por Strickland y Parson (1972) en Garay *et al* (2003).



3.3.3 Muestras Biológicas

3.3.3.1 Análisis Cualitativo

Para establecer la composición taxonómica del fitoplancton de las muestras colectadas con red, se realizó la observación de varias alícuotas hasta la no aparición de especies diferentes en cada muestra. La observación del material se realizó en un microscopio estándar NIKON ECLIPSE E200 con cámara digital incorporada NIKON COOLPIX 4500; para la cual se utilizaron entre otras las claves y referencias bibliográficas de Cupp (1943), Hendey (1964), Sournia (1968), Tomas (1966) Yacubson (1972), Vidal & Carbonell (1977); Komarek & Anagnostidis (1986), Anagnostidis & Komarek (1988), Balech (1988); Komárek & Anagnostidis (1989); Round *et al* (1990) y Vidal (1995).

3.3.3.2 Análisis Cuantitativo

En el laboratorio, las muestras de agua sin filtrar, se dejaron sedimentar mínimo 48 horas y se sifonearon hasta obtener un volumen final entre 200-400 ml; de allí, se tomaron varias alícuotas (máximo 6 ml) y se depositaron en una cámara Sedgewick-Rafter para conteos celulares. Los conteos se realizaron utilizando un microscopio estándar NIKON ECLIPSE E200 con cámara digital incorporada NIKON COOLPIX 4500. La finalización del conteo se estipuló hasta obtener un número



mínimo de 100 células, dada la pobreza de células fitoplanctónicas observadas en las muestras analizadas (Vidal *com. per.*).

3.4 Análisis de los Datos

3.4.1 Estadística Descriptiva

Se establecieron las principales medidas descriptivas (promedio, máximo y mínimo) para las variables ambientales, así como para los datos de abundancia fitoplanctónica (promedio y abundancia total) en cada muestreo.

3.4.2 Mapas Temáticos

Con el fin de esquematizar la distribución espacial de la concentración clorofila *a*, (cuantificación indirecta de la biomasa fitoplanctónica), se realizaron mapas temáticos de dicha variable en las estaciones de muestreo de la BSM. Los mapas se realizaron bajo el programa SURFER 8.

3.4.3 Descripción porcentual

Se realizaron gráficos porcentuales por muestreo, teniendo en cuenta los promedios de las abundancias de cada grupo fitoplanctónico (diatomeas céntricas, diatomeas pennadas, dinoflagelados, silicoflagelados, cocolitofóridos, cianófitas, clorófitas y otros grupos).





3.4.4 Análisis de Clasificación

Para cada muestreo y nivel de profundidad se realizaron matrices de abundancia por especies. Con cada matriz se realizó un análisis de clasificación para agrupar las estaciones de muestreo símiles espacialmente. Dicho agrupamiento se realizó con base en el índice de similaridad de Bray-Curtis mediante la técnica de agrupamiento completo utilizando el software estadístico Biodiversity 2.0. Posteriormente se hicieron dendrogramas y se establecieron grupos bajo un 50% de similaridad.

3.4.5 Análisis de Similaridad (ANOSIM)

Con el fin de establecer diferencias estadísticamente significativas en la composición y abundancia del fitoplancton entre los muestreos y niveles de profundidad se aplicó la técnica Anosim con diseño a dos vías. El ANOSIM es una prueba estadística multivariada, análoga al análisis de varianza (ANOVA), y es combinada con una aleatorización general aproximada a la generación de niveles de significancia (Clarke & Warwick, 2001).

Esta técnica se basa en el rango de similaridad entre los sitios de muestreo (r_B), el rango de similaridad entre las muestras de cada sitio de muestreo (r_W) y el número total de muestras bajo consideración (n). Compara pares de "grupos de



muestras" (estaciones o sitios de muestreo) y agrega valores de significancia a estas comparaciones. La técnica ofrece un valor de significancia (p) que permitió probar la hipótesis nula de "no existen diferencias significativas en la composición y abundancia del fitoplancton entre muestreos y entre niveles de muestreo (1 y 20m de profundidad). El valor de p es presentado en porcentaje y un valor menor al 5% rechaza la hipótesis.

Para realizar el ANOSIM, la ordenación de los datos de abundancia se hizo con base en el índice de similaridad de Bray-Curtis, transformando las abundancias a logaritmo ($\ln(x+1)$) para contrarrestar el peso de las especies más dominantes, pero sin disminuir su importancia.

3.4.6 Análisis de Varianza (ANOVA)

Con el fin de establecer diferencias estadísticamente significativas en la concentración de clorofila entre los muestreos y niveles de profundidad se realizó un Análisis de varianza a dos vías, utilizando el software estadístico STATGRAPHICS 4.1.

Debido a que los datos no presentaron distribución normal, violando uno de los principios para la aplicación de la estadística paramétrica, se identificó la



distribución de probabilidad de los datos, con el fin de establecer la mejor expresión para su transformación. Mediante una prueba de Chi-Cuadrado se estableció que los datos de clorofila se ajustan a una distribución Lognormal ($p > 0,05$). Una vez transformados los datos mediante la expresión $X' = \text{Log}_{10}(X)$, se procedió a realizar un análisis de varianza de un factor, con el fin de chequear la homogeneidad de varianzas de los datos transformados. Se encontró que no existen diferencias significativas en las desviaciones estándar de las profundidades con las pruebas de Cochran y Bartlett ($p > 0,05$), por lo tanto se cumple el supuesto de Homocedasticidad para realizar el ANOVA de dos factores, estableciendo como Factor 1 los muestreos (estacionalidad) y el Factor 2 la profundidad, y así probar si existen diferencias significativas en la concentración de clorofila entre las profundidades y entre los meses de muestreo. Mediante una prueba de Chi-Cuadrado, se estableció que no se puede rechazar la hipótesis de que los datos de clorofila transformados se ajustan a una distribución normal ($p > 0.001$), igualmente la prueba de Bondad de Ajuste de Kolmogorov Smirnov ($p > 0.001$) permite establecer que se cumple así el supuesto de distribución normal de los datos (Anexo 1).



3.4.7 Test de Tukey

Para identificar cuáles parejas de cada factor (muestreos y nivel de profundidad) son las responsables de la diferencia en la concentración de clorofila *a*, se aplicó la prueba de rango múltiple de Tukey (Tukey HSD), utilizando el programa estadístico STATGRAPHICS 4.1.

3.4.8 Estructura de la Comunidad

La comunidad se caracterizó mediante:

S: Igual a la riqueza de especies, es decir el número de especies en cada muestreo. Este índice es fácilmente conceptualizado y comparable a través de los muestreos (Magurran 2004).

H': El índice de diversidad de Shannon–Weanner, refleja tanto la equidad como la riqueza de las entidades.

$$H' = \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$$

Donde: P_i corresponde la proporción de individuos encontrados en la *i-ésima* especie, es decir n_i/N .

E: El índice de equidad de Pielau, indica abundancia de especies en términos de equidad y está basado en el índice de diversidad, que para este caso corresponde al de Shannon-Weanner. Su máximo valor es 1 y se alcanza cuando hay una distribución homogénea de la abundancia de la comunidad (Magurran 2004).



$E = \frac{H'}{H_{máx}}$ donde $H_{máx} = \frac{H'}{\ln S}$ y H' corresponde a la diversidad medida por Shannon-Weanner.

D: La medida de dominancia de Simpson, enfatiza fuertemente en la importancia de las especies numéricamente dominantes. Valores bajos indican que la dominancia por cualquier especie en un sistema es baja y están acompañados por lo general, de incrementos de equidad (Magurran 2004).

Tanto el índice de equidad de Shannon y el de dominancia de Simpson, indican heterogeneidad en el sitio.

$$D = \frac{1}{\sum_{i=1}^s P_i^2}$$

donde: **S** corresponde a la riqueza en el estrato altitudinal.

P_i corresponde a la proporción de la especie i-ésima en la muestra (n_i/N).

3.4.9 Relación entre Variables

Para establecer las asociaciones por casualidad entre la clorofila *a*, variables fisicoquímicas, nutrientes y algunos atributos de la comunidad como la riqueza y diversidad; se utilizó el coeficiente de correlación no paramétrico de Spearman



trabajando con un intervalo de confianza de 0,05. Todas las correlaciones se realizaron bajo el programa STATGRAPHICS 4.1.

$$r_s = 1 - \left[\frac{6 \sum D^2}{n(n^2 - 1)} \right] \quad \text{donde: } n = \text{Número de pares de valores (x,y) que se comparan.}$$

D = Diferencia de rango

4. RESULTADOS

4.1 Comportamiento Pluviométrico

En la Figura 2 se observa que la mayor precipitación se presenta en noviembre con media mensual multianual de 81 mm, seguido de octubre con 60 mm, mientras que para enero, febrero y marzo se registran medias mensuales multianuales entre 0 y 1,2 mm, mostrando claramente la diferencia climática de la zona. Para los meses de muestreo la mayor precipitación se presentó en septiembre y noviembre, con medias mensuales de 69 y 134 mm respectivamente; los valores más bajos se registraron en enero, febrero y marzo.

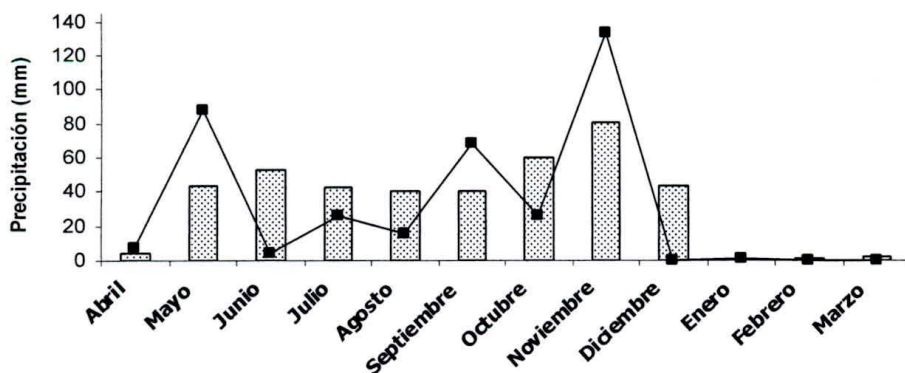


Figura 2. Registros de precipitación en la bahía de Santa Marta.  Promedios mensuales multianuales 1993-2005.  Promedios mensuales 2004-2005. Registros de la estación de Punta Betín reportados por el Sistema Nacional de Monitoreo de Arrecifes Coralinos (SIMAC-INVEMAR).

4.2 Físicoquímicos

4.2.1 Temperatura

Las menores temperaturas promedio se registraron en el muestreo de Enero con valores de 25,3 °C en superficie y 24,8 °C en fondo. El muestreo de Octubre registró las mayores temperaturas, con valores de 29,8 °C en superficie y 29,1 °C en el nivel profundo. (Figura 3).

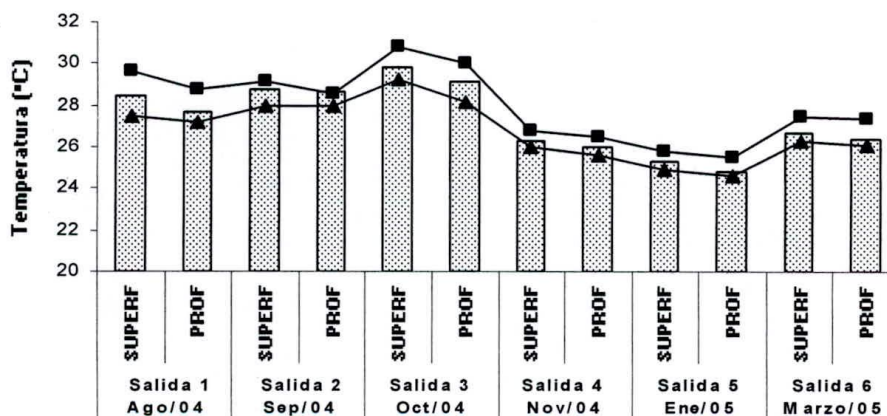


Figura 3. Registros de temperatura en la bahía de Santa Marta.
 ■ Promedio; — Máximo; — Mínimo.

4.2.2 Salinidad

Con respecto a la salinidad, en el muestreo de Octubre se presentaron los valores promedio más bajos con 33,9 UPS y 35,5 UPS en superficie y fondo, respectivamente. Las mayores salinidades promedio se registraron en los muestreos de Noviembre y Enero con valores de 37,3 UPS, tanto en superficie como en fondo (Figura 4). El valor mínimo de salinidad fue de 30 UPS en el

mes de septiembre en el nivel profundo y el valor máximo 37,1 UPS registrado en los muestreos de agosto y enero.

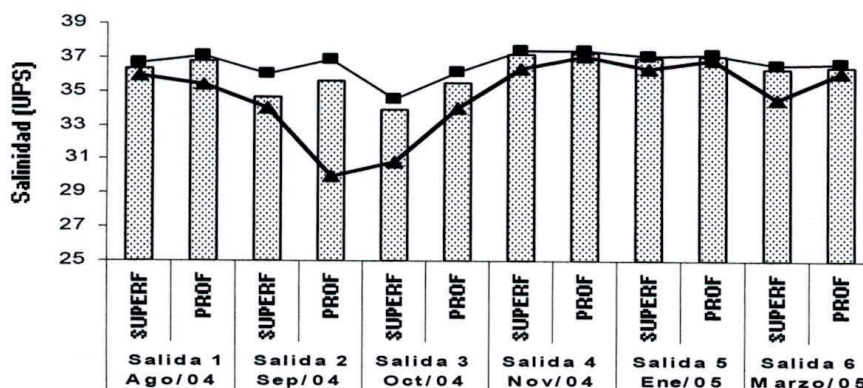





Figura 4. Registros de salinidad en la bahía de Santa Marta.  Promedio;  Máximo;  Mínimo.

4.2.3 Oxígeno Disuelto

En los muestreos de septiembre y enero se registraron las menores concentraciones promedio de oxígeno disuelto, con valores de 4,5 mg/l en superficie y fondo. Las mayores concentraciones promedio se presentaron para los muestreos de agosto, noviembre y marzo, con valores entre 5,6 mg/l y 5,9 mg/l para ambos niveles de profundidad (Figura 5). La saturación de oxígeno promedio varió entre 53,1% y 74%. La máxima y la mínima saturación se presentaron en el muestreo de enero, con 88,8% y 22,2% respectivamente.

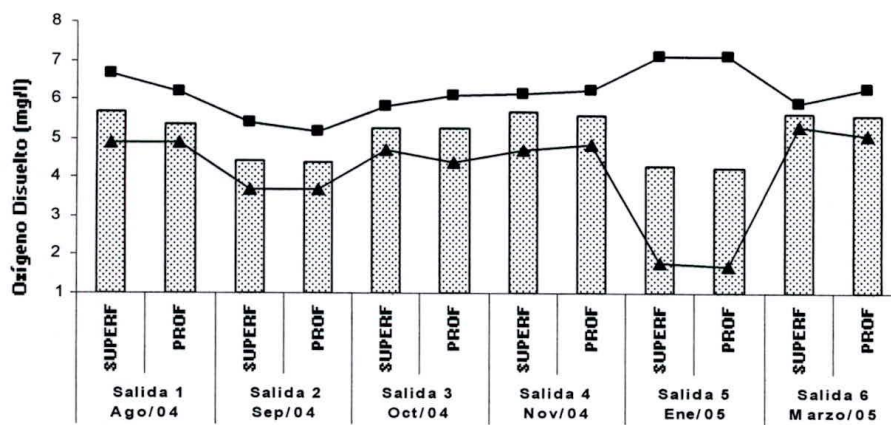





Figura 5. Registros de oxígeno disuelto en la bahía de Santa Marta.  Promedio;  Máximo;  Mínimo.

4.2.4 pH

En todos los meses de muestreo, se presentaron valores similares tanto en superficie como en fondo; en general, no hubo variaciones considerables durante el estudio, y se mantuvo un promedio entre 8,1 y 8,4 (Figura 6). En octubre, se registraron los valores máximos y mínimos con 8,57 en superficie y 7,7 en fondo.

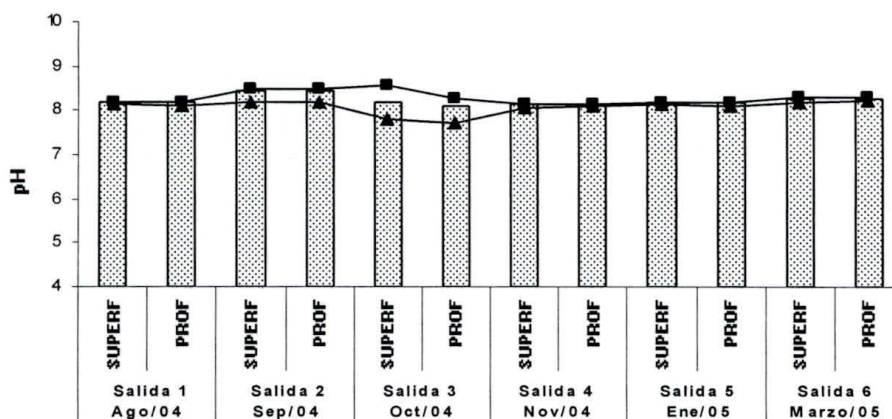


Figura 6. Registros de pH en la bahía de Santa Marta.  Promedio;  Máximo;  Mínimo.

4.2.5 Transparencia

La transparencia del agua se definió como 2 veces la profundidad del disco Secchi (Vidal com. per.), cuyo valor promedio osciló entre 4 m y 8 m. Los máximos valores de transparencia se alcanzaron para los meses de agosto y marzo, con 10 m y 11 m, respectivamente. Los valores mínimos se mantuvieron alrededor de los 1,5 – 2,5 m de profundidad para todos los meses de muestreo (Figura 7).

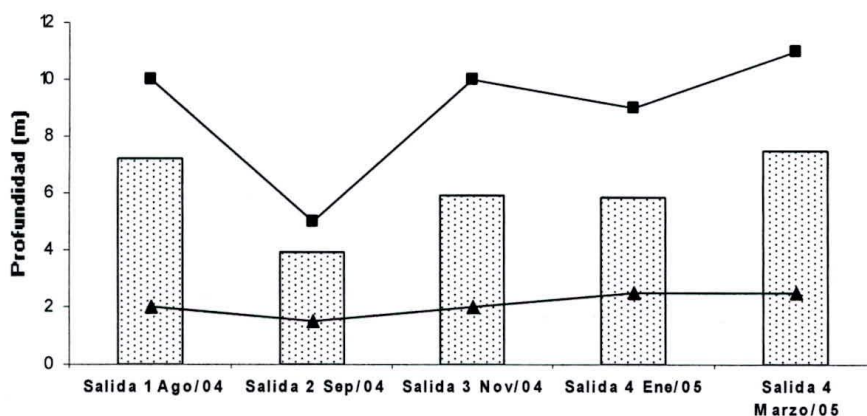


Figura 7. Registros de transparencia del agua en la bahía de Santa Marta.  Promedio;  Máximo;  Mínimo.

4.3 Nutrientes

4.3.1 Amonio

En el muestreo de septiembre se presentó la concentración promedio de amonio más alta, con valores de 7,679 $\mu\text{M/l}$ en superficie; mientras que en el muestreo de agosto se registró el valor más bajo de este nutriente, con 0,313 $\mu\text{M/l}$ en el nivel profundo. El valor mínimo de amonio que se obtuvo fue de 0,072 $\mu\text{M/l}$ en los muestreos de octubre y marzo, para el nivel superficial, mientras que el valor máximo encontrado fue de 22,442 $\mu\text{M/l}$ en superficie, para el muestreo de octubre (Figura 8).

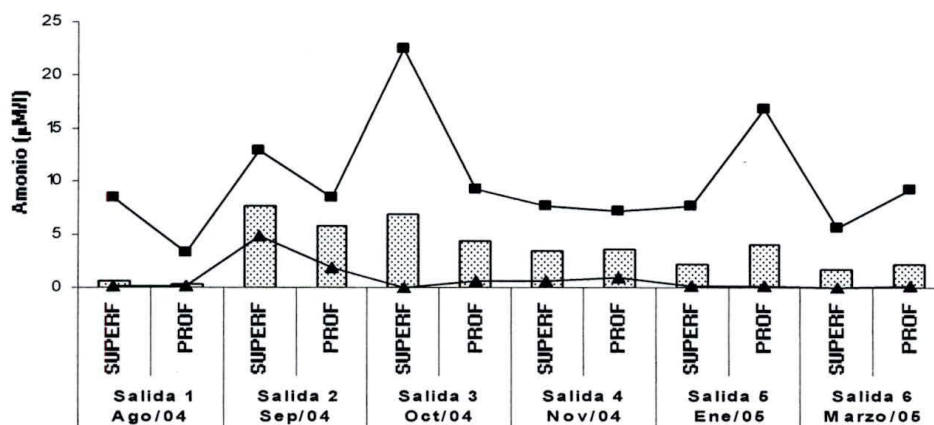


Figura 8. Registros de concentración de amonio en la bahía de Santa Marta. Promedio; —■— Máximo; —▲— Mínimo.

4.3.2 Nitritos

Las concentraciones de nitritos presentaron promedios muy diferentes entre los muestreos, encontrando la concentración más alta en el mes de noviembre con un valor de 2,359 $\mu\text{M/l}$ en superficie, mientras que para el nivel profundo el valor más alto se registró en el mes de enero con 2,359 $\mu\text{M/l}$. El valor mínimo de nitrito fue de 0,010 $\mu\text{M/l}$ para casi todos los muestreos, a excepción del mes de septiembre en superficie (0,906 $\mu\text{M/l}$). El valor máximo fue de 14,969 $\mu\text{M/l}$ para el nivel profundo, en el mes de noviembre (Figura 9).

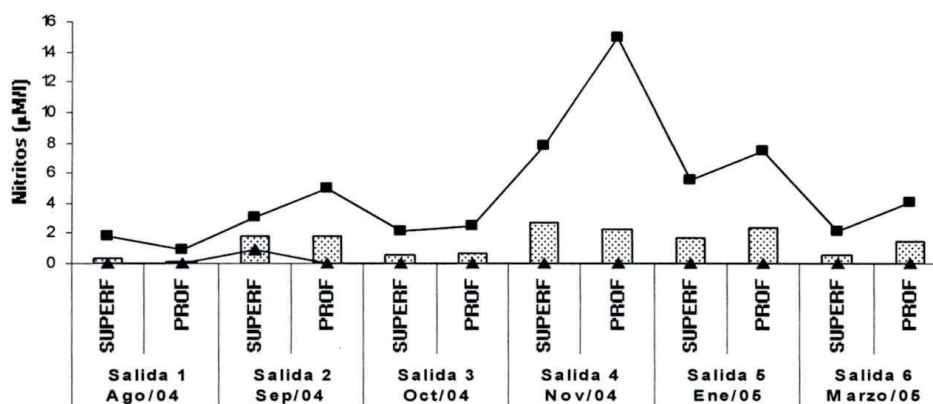





Figura 9. Registros de concentración de nitritos en la bahía de Santa Marta.  Promedio;  Máximo;  Mínimo.

4.3.3 Ortofosfatos

Los ortofosfatos presentaron en general promedios bajos, encontrando el valor más alto en el muestreo de octubre con 1,393 µM/l para el nivel profundo. En el muestreo de marzo se observó el promedio más bajo con 0,12 µM/l en superficie. La concentración máxima de ortofosfatos se obtuvo en el muestreo de septiembre con un valor de 6,420 µM/l, el valor mínimo fue de 0,03 µM/l para los muestreos de agosto, enero y marzo (Figura 10).

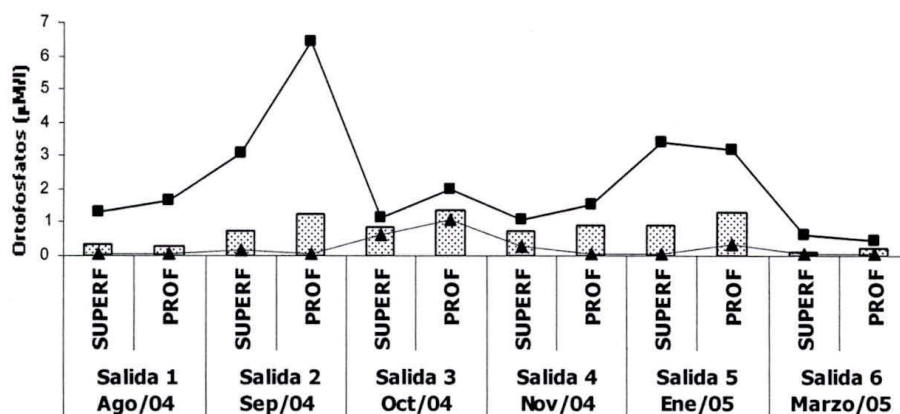





Figura 10. . Registros de concentración de ortofosfatos en la bahía de Santa Marta.  Promedio;  Máximo;  Mínimo.

4.3.4 Silicatos

Las concentraciones promedio para este nutriente presentaron para el mes de octubre el valor más alto con 31,039 $\mu\text{M/l}$, mientras que para el mes de agosto se registró la concentración más baja con un valor de 0,470 $\mu\text{M/l}$. La concentración máxima fue de 77,193 $\mu\text{M/l}$ para el mes de octubre en el nivel profundo; de igual forma, para el mismo nivel de profundidad pero en el mes de agosto, se reportó la concentración más baja con un valor de 0,298 $\mu\text{M/l}$ (Figura 11).

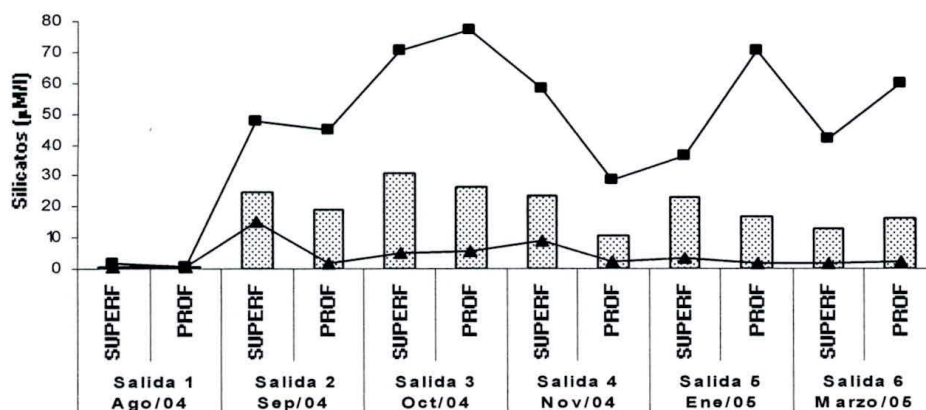





Figura 11. . Registros de concentración de silicatos en la bahía de Santa Marta.  Promedio;  Máximo;  Mínimo.

4.4 Composición Taxonómica y Abundancia Fitoplanctónica

Se colectaron 388 especies de algas distribuidas en seis clases, ocho órdenes, 35 familias y 119 géneros. Los grupos fitoplanctónicos encontrados fueron: diatomeas (céntricas (DC) y pennadas (DP)), dinoflagelados (DN), silicoflagelados (SF), cianófitas (CN), cocolitofóridos (CF) y flagelados (Anexo 3). La mayor proporción de las especies colectadas (243) corresponde a las diatomeas, seguidas de los dinoflagelados con 99 especies, las cianófitas con 11 especies y el resto de los grupos con tres especies (Figura 12). El género *Chaetoceros* aportó el mayor número de especies (21) al grupo de las diatomeas céntricas. Las diatomeas pennadas estuvieron representadas por el género *Nitzschia*, con 23 especies. Los géneros *Ceratium* y *Protoperidinium*,



registraron 37 y 40 especies respectivamente, para el grupo de los dinoflagelados.

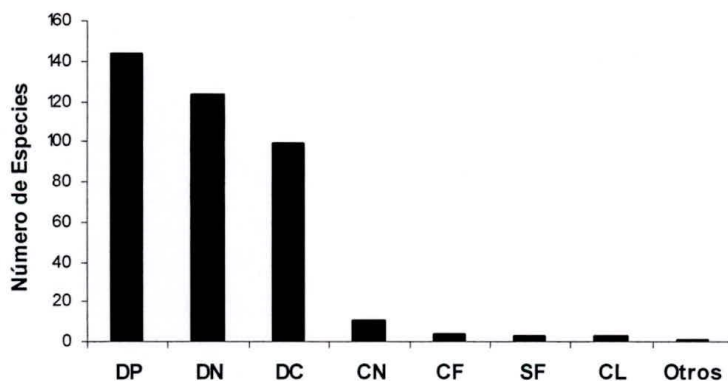


Figura 12. Número de especies por grupo fitoplanctónico en la bahía de Santa Marta.

La comunidad fitoplanctónica presentó su mayor abundancia en el muestreo de noviembre con 21×10^6 cel/l en el nivel superficial. La menor abundancia se registró en el muestreo de enero con 16455 cel/l en el nivel profundo (Figura 13). Las concentraciones promedio oscilaron entre 12 y 11218 cel/l.

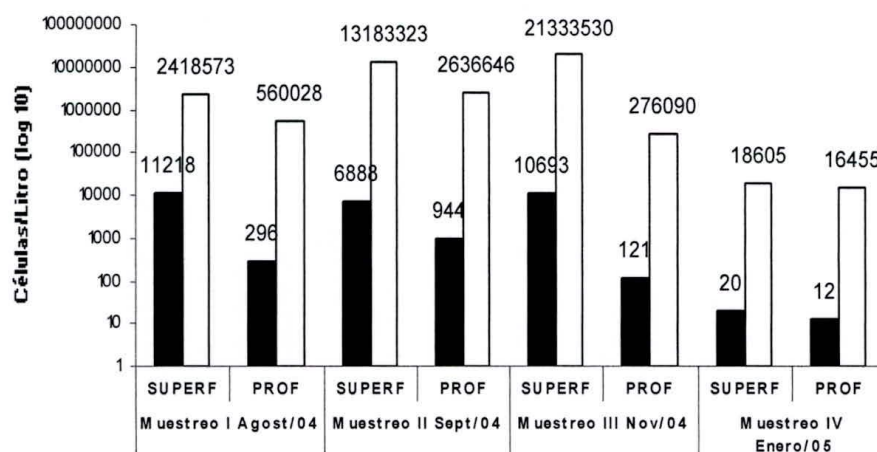


Figura 13. Abundancia fitoplanctónica en la bahía de Santa Marta. ■ Promedio; □ abundancia total.

4.4.1 Abundancia de los Grupos Fitoplanctónicos

4.4.1.1 Agosto

Para el nivel superficial, las diatomeas céntricas aportaron el 60 % de la abundancia fitoplanctónica, las diatomeas pennadas el 30 % y los demás grupos presentaron un porcentaje muy bajo, con excepción de los silicoflagelados que alcanzaron un valor cercano al 10 %. (Figura 14a). En el nivel profundo, las diatomeas céntricas conformaron el 35% de la abundancia y las diatomeas pennadas aportaron el 15 % (ligeramente la mitad del valor en superficie). Los otros grupos presentaron valores porcentuales superiores a los de superficie. (Figura 15a).



4.4.1.2 Septiembre

Las diatomeas céntricas y las pennadas compartieron un valor cercano al 40 %, los otros grupos presentaron valores por debajo del 10 %, en el nivel superficial (Figura 14b). En el nivel profundo, las diatomeas céntricas, diatomeas pennadas y cianófitas presentaron valores porcentuales de aporte cercanos al 10 %, los cocolitofóridos aportaron un 60 % y los demás grupos aportaron menos del 1% (Figura 15b).

4.4.1.3 Noviembre

En el nivel superficial, las diatomeas céntricas y pennadas obtuvieron los valores más altos con el 40 y 53 %, respectivamente, los demás grupos presentaron valores por debajo del 10 % (Figura 14c). En el nivel profundo, las diatomeas céntricas y pennadas alcanzaron los valores más altos con el 28 y 50 % respectivamente, los demás grupos, con excepción de los cocolitofóridos con el 13 %, presentaron valores por debajo del 10 % (Figura 15c).

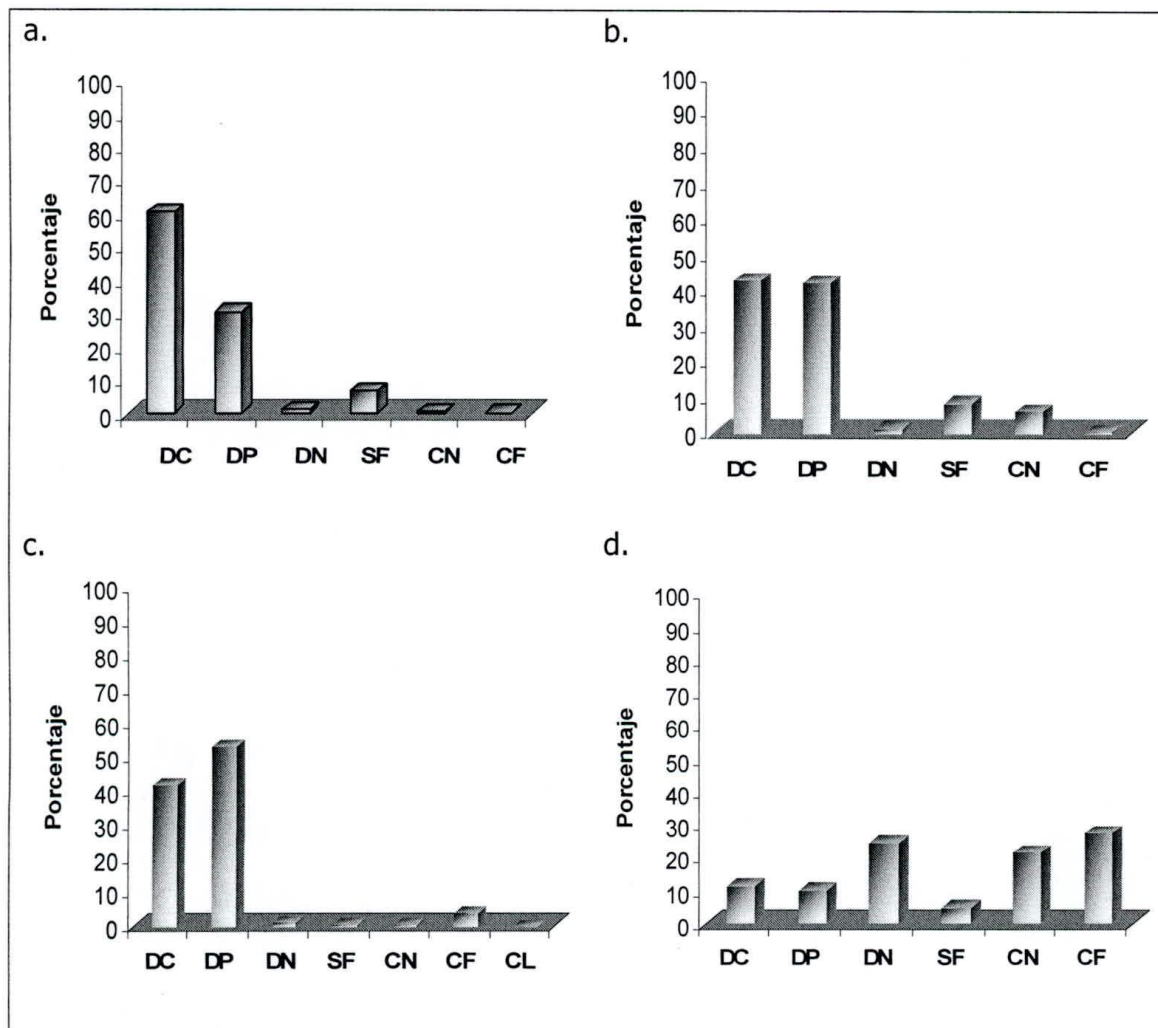


Figura 14. Aporte de los grupos fitoplanctónicos a la abundancia en la bahía de Santa Marta. a. Agosto; b. Septiembre; c. Noviembre; e. Enero. Nivel superficial.



4.4.1.4 Enero

En el nivel superficial las diatomeas céntricas y pennadas compartieron un valor cercano al 10 %, los demás grupos, con excepción de los silicoflagelados (5 %), presentaron porcentajes alrededor del 25 % (Figura 14d). En este muestreo, las diatomeas presentaron el aporte más bajo a la abundancia de la comunidad fitoplanctónica en relación con los muestreos anteriores. La abundancia del fitoplancton en el nivel profundo (Figura 15d), es muy semejante a lo observado para el nivel superficial con disminución en el porcentaje de dinoflagelados, incremento de las cianófitas y la aparición de clorófitas.

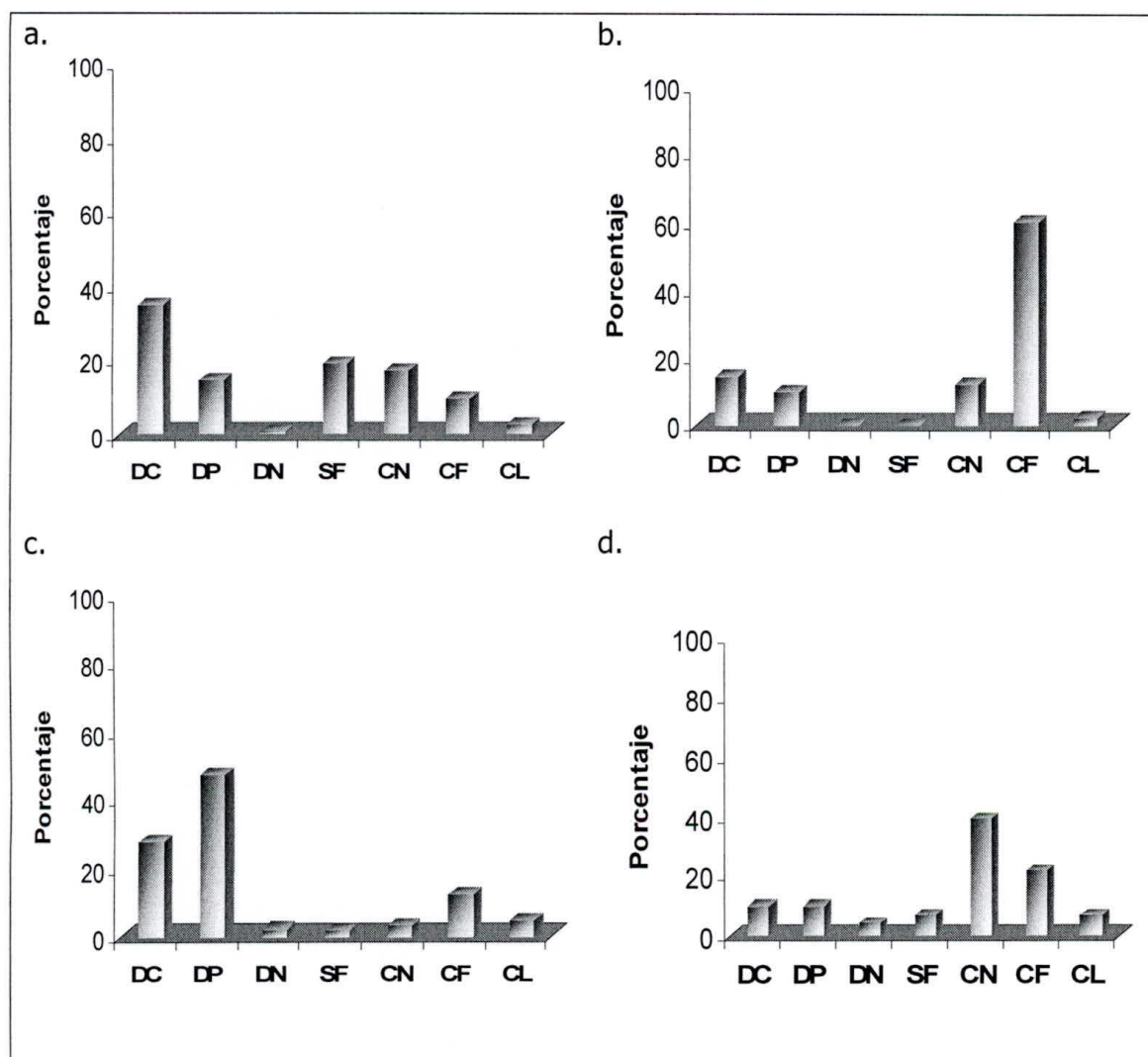


Figura 15. Aporte de los grupos fitoplanctónicos a la abundancia en la bahía de Santa Marta. a. Agosto; b. Septiembre; c. Noviembre; d. Enero. Nivel profundo.



4.5 Distribución Espacio-Temporal del Fitoplancton

Teniendo en cuenta las similitudes obtenidas con el Índice de Bray – Curtis, en el muestreo de agosto se forman 5 grupos (3 en superficie y 2 en fondo), el 60 % de las agrupaciones y por ende las estaciones que las conforman, logran tener algún tipo de cercanía espacial entre ellas con la desembocadura del río Manzanares (Figuras 16a y 17a). De igual forma, en el muestreo de septiembre se forman 9 grupos (5 en superficie y 4 en fondo), de los cuales tres grupos presentan el mismo patrón de asociación con el río (Figuras 16b y 17b). En noviembre se forman seis grupos (3 en superficie y 3 en fondo), de los cuales solo uno alcanza a tener asociación con la desembocadura del río Manzanares (Figuras 16c y 17c). En el muestreo de enero se logran formar 5 grupos, en donde la estaciones 28 y 39 presentan cercanía espacial con el emisario submarino (Figuras 16d y 17d). El resto de los grupos y estaciones no presentan un claro patrón de asociación espacial entre ellas, ni con algún sector de la Bahía de Santa Marta. Las especies que caracterizan la agrupación entre las estaciones con alguna cercanía al río, son principalmente diatomeas del grupo de las céntricas como *Chaetoceros lorenzianus*, *Ch. diversus*, *Ch. lacinosus*, *Bacteriastrum delicatulum*, *Chaetoceros* sp. 2, *B. elegans*, *Guinardia flacida*, *G. striata* y *Skeletonema costatum*; y diatomeas pennadas entre las que se destacan *Thalassionema nitzschioides*, *Th. frauenfeldii*, *Synedra ulna*,



Synedra sp., *Pseudonitzschia* sp. y *Cylindroteca closterium*. Otro aporte importante a la similaridades de estas estaciones lo hace *Pseudoanabaena* sp. del grupo de las cianófitas.

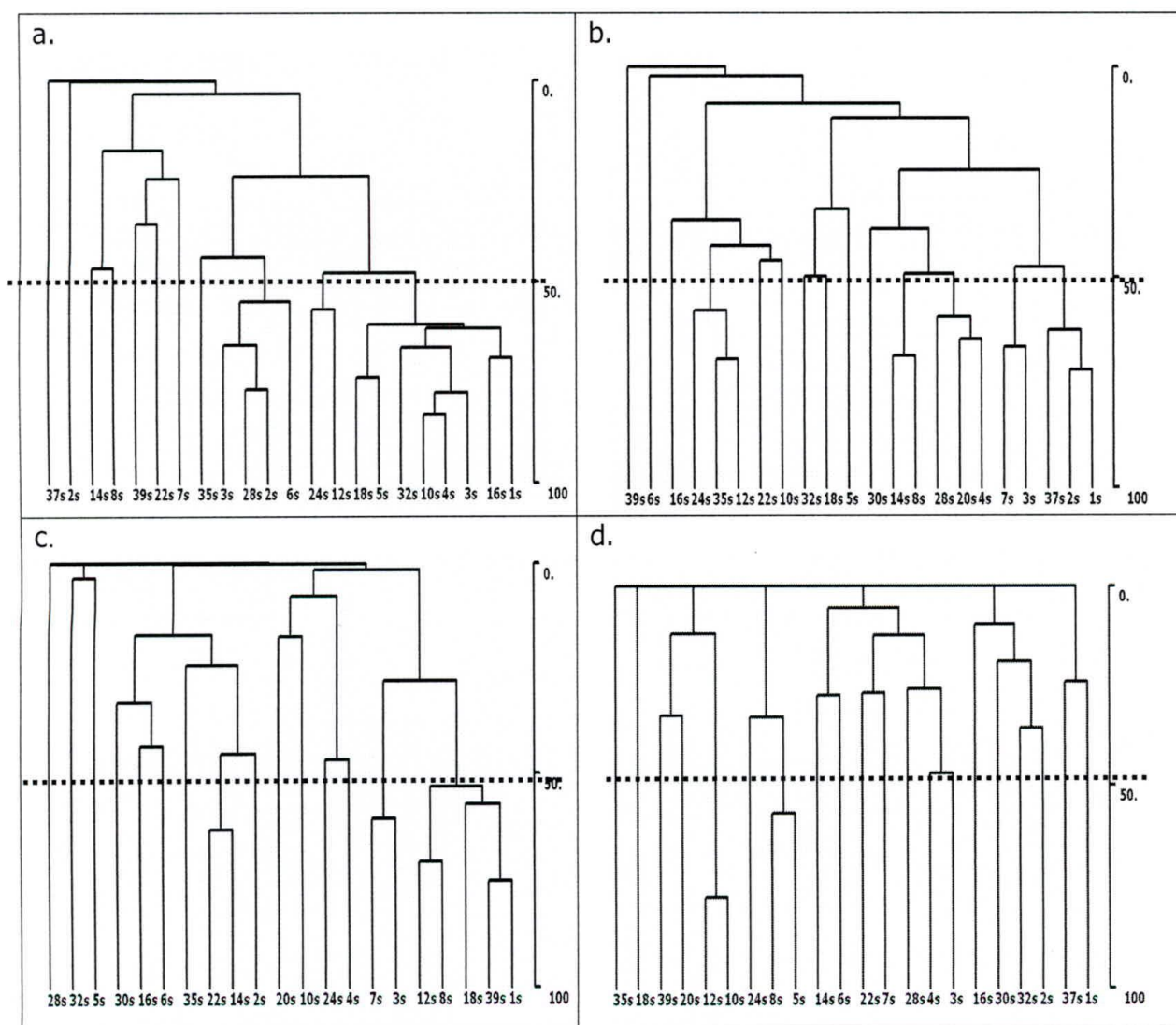


Figura 16. Dendrograma de similaridad de Bray-Curtis. a. Agosto; b. Septiembre; c. Noviembre; d. Enero. Nivel superficial.

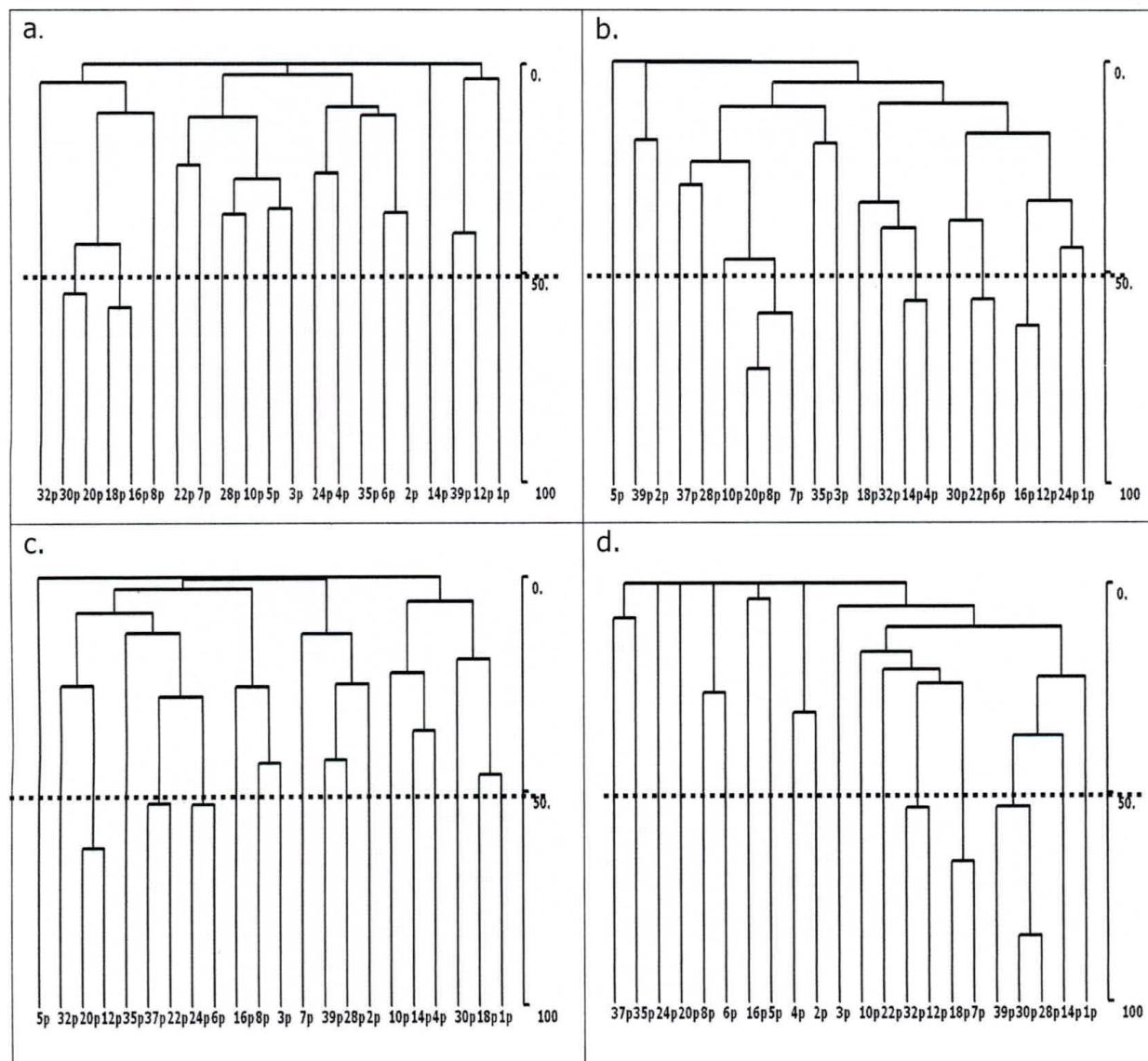


Figura 17. Dendrograma de similitud de Bray-Curtis. a. Agosto; b. Septiembre; c. Noviembre; d. Enero. Nivel profundo.



Mediante el análisis de similitudes ANOSIM, se estableció que existen diferencias estadísticamente significativas entre las épocas de muestreo ($p=0,1$ %) y entre las profundidades de muestreo ($p=0,1$ %) para la comunidad fitoplanctónica, indicando la poca similaridad entre las estaciones tanto en el espacio como en el tiempo. Las especies del género *Chaetoceros* dominaron en número de especies y abundancia en los muestreo de agosto y septiembre tanto en superficie como en fondo (70 %), con aportes sustanciales de las diatomeas pennadas *Thalassionema nitzschioides* (18 %) y *Th. Frauenfeldii* (10 %) y la cianófita *Pseudoanabaena* sp. (10%) en septiembre. El muestreo de noviembre evidenció un incremento de las diatomeas pennadas en superficie y fondo, donde se destacaron nuevamente *Pseudonitzschia* sp. (17 %) *Thalassionema nitzschioides* (12 %), *Th. frauenfeldii* (8 %) y *Pseudonitzschia pungens* (5 %). El muestreo de enero estuvo representado principalmente por las especies del género *Ceratium* (dinoflagelados) (20 %), los cocolitofóridos (18 %) y *Anabaena* sp. (cianófitas) (15 %).

4.6 Biomasa Fitoplanctónica

La concentración promedio de clorofila *a* en superficie, osciló entre 0,533 $\mu\text{g/l}$ para el muestreo de agosto y 1,535 $\mu\text{g/l}$ para los muestreos de septiembre y noviembre. Los valores promedio en el nivel profundo, oscilaron entre 0,5 $\mu\text{g/l}$

para el muestreo de agosto y 1,4 $\mu\text{g/l}$ en el muestreo de noviembre. La concentración máxima de clorofila *a* fue de 6,672 $\mu\text{g/l}$, registrada para el mes de septiembre en el nivel profundo. El mínimo valor de clorofila *a* fue de 0,175 $\mu\text{g/l}$, encontrado en el muestreo de Agosto en superficie (Figura 18).

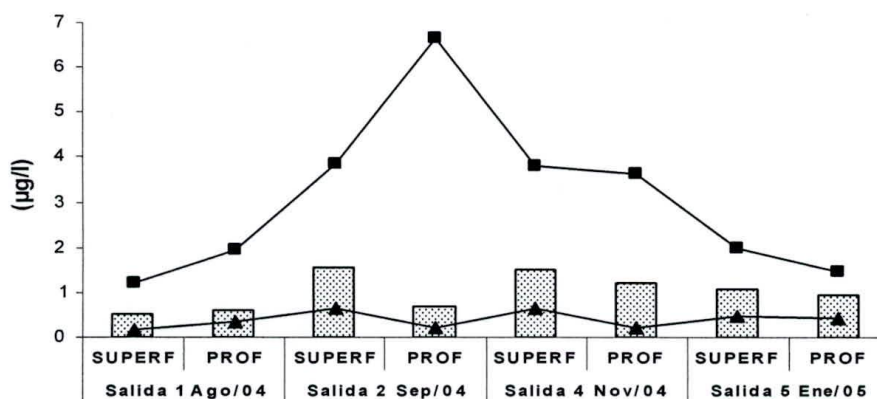



Figura 18. Registros de clorofila *a* en la bahía de Santa Marta.  Promedio;  Máximo;  Mínimo.

4.7 Distribución Espacial y Temporal de la Clorofila *a*

4.7.1 Agosto

Los valores más altos de clorofila en superficie, se localizaron hacia la región Sureste de la BSM extendiéndose a lo largo de la línea de costa y hacia el Norte hasta el puerto de la ciudad; los valores más bajos se distribuyeron hacia el Oeste de la BSM. En el nivel profundo, los valores más altos de clorofila *a* se localizaron nuevamente hacia el Sureste a lo largo de línea de costa y un valor



alto en la estación 38, cercana a la salida del emisario submarino; los valores más bajos para el mismo nivel, al igual que en superficie, se localizaron hacia el Oeste de la BSM (Figuras 19a y 20a).

4.7.2 Septiembre

Los valores más altos de clorofila en superficie, se localizaron hacia el Norte de la BSM y hacia el Sureste extendiéndose a lo largo de la línea de costa; los valores más bajos se distribuyeron al Oeste de la BSM. En el nivel profundo los valores más altos de clorofila se localizaron cercanos a la desembocadura del río Manzanares; los valores más bajos se localizaron hacia el oeste de la BSM (Figuras 19b y 20b).

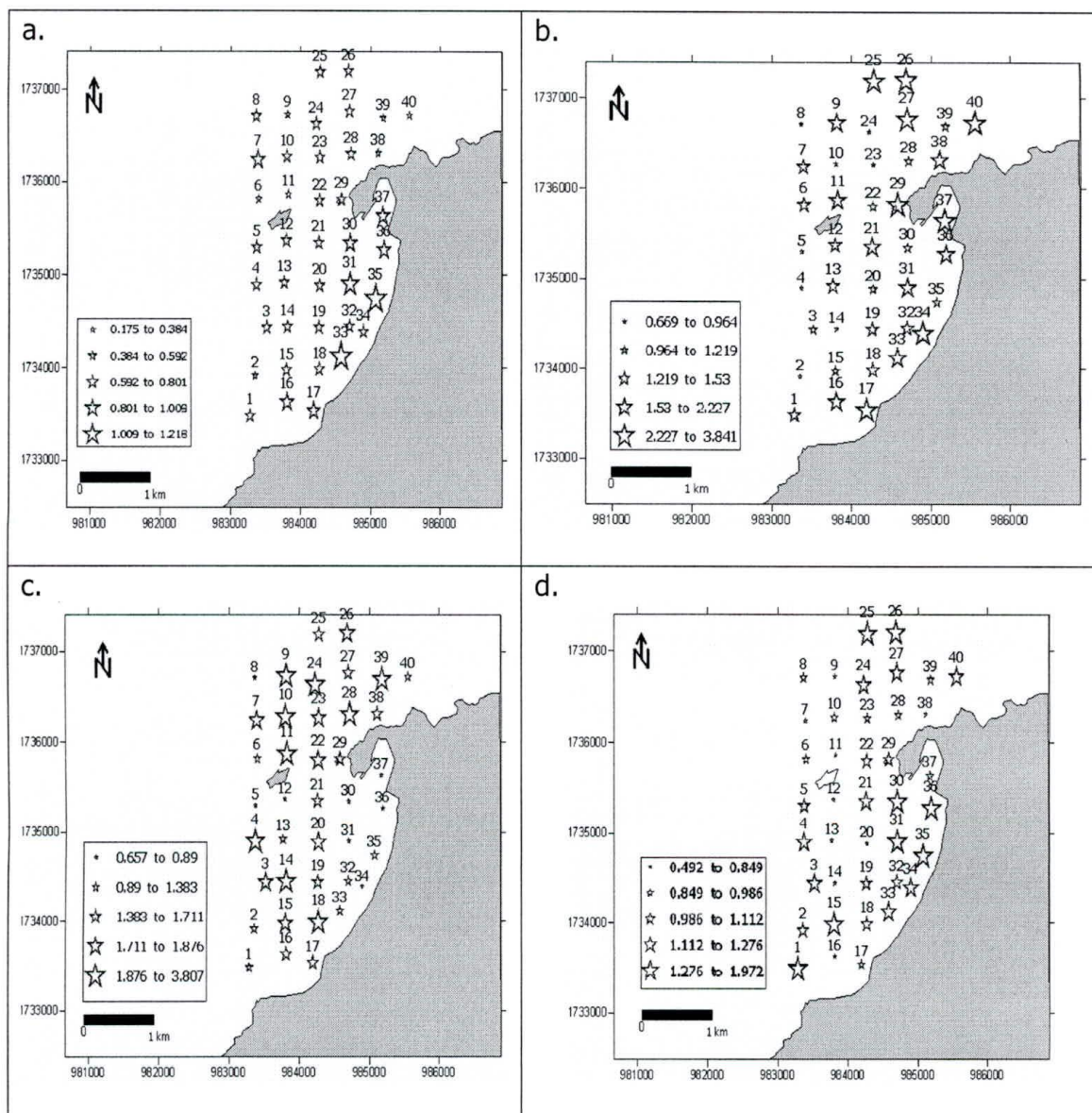


Figura 19. Distribución espacial de la biomasa fitoplanctónica en la Bahía de Santa Marta. a. Agosto; b. Septiembre; c. Noviembre; d. Enero. Nivel superficial



4.7.3 Noviembre

Para el mes de noviembre los valores más altos de clorofila en superficie, se distribuyeron hacia el Norte de la BSM con un pico máximo en la estación 39, cerca a la salida del emisario submarino. Los valores más bajos se localizaron al Sureste, a lo largo de la línea de costa y hacia el Oeste de la BSM. En el nivel profundo los valores más altos de clorofila *a* se distribuyen al Norte de la BSM, en las estaciones por fuera del morro con un pico máximo en la estación 40; los valores más bajos se localizaron al Oeste de la BSM (Figuras 19c y 20c).

4.7.4 Enero

En enero, los valores más altos de clorofila *a* en superficie, se distribuyeron hacia el Sureste extendiéndose a lo largo de la línea de costa y hacia el Norte en las estaciones por fuera del morro; los valores más bajos se localizan al Oeste de la BSM. La clorofila *a* en el nivel profundo, se distribuyó hacia el Sureste extendiéndose a lo largo de la línea de costa y hacia el Norte en las estaciones por fuera del morro; los valores más bajos se distribuyeron hacia el Oeste de la BSM (Figuras 19d y 20d).

El análisis de varianza estableció que existen diferencias estadísticamente significativas en la concentración de clorofila *a* entre las épocas de muestreo ($p < 0,001$) y entre profundidades de muestreo ($p < 0.001$), así como también la

interacción de los factores ($p < 0,001$). La prueba de comparación múltiple encontró que todas las parejas presentan diferencias estadísticamente significativas (Anexo 2).

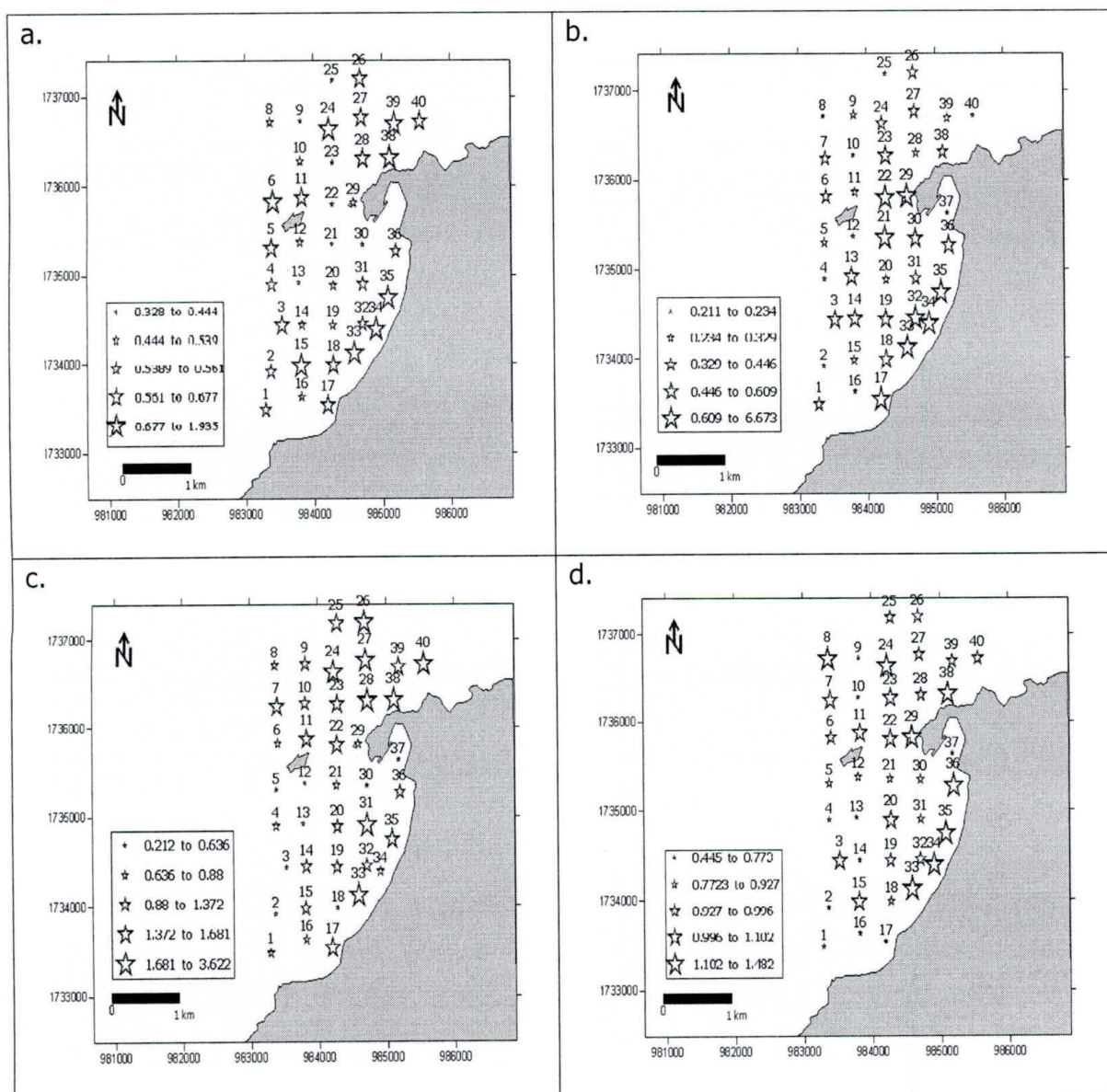


Figura 20. Distribución espacial de la biomasa fitoplanctónica en la Bahía de Santa Marta. a. Agosto; b. Septiembre; c. Noviembre; d. Enero. Nivel profundo.

La biomasa fitoplanctónica presentó correlación positiva con la temperatura y negativa con el oxígeno para los meses de septiembre y enero; a diferencia de lo ocurrido en el mes de noviembre cuando la biomasa y el oxígeno se correlacionaron positivamente ($p < 0,05$). La salinidad y la biomasa también se correlacionaron de manera inversa para el muestreo de septiembre ($p < 0,05$). Los fosfatos y la biomasa se correlacionaron de manera positiva en los muestreos de septiembre y enero ($p < 0,05$).

4.8 Estructura de la Comunidad Fitoplanctónica

La tendencia que se observó en los datos de riqueza, está relacionada con un descenso en el número de especies a través de los muestreos. Es así como, el muestreo de agosto registró los valores más altos de riqueza con 218 especies y el muestreo de enero el valor más bajo con 115 especies (Figura 21).

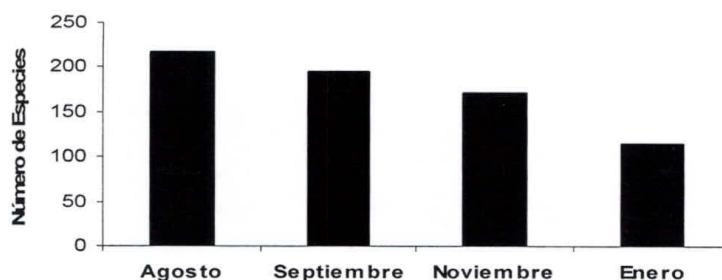


Figura 21. Número de especies fitoplanctónicas registradas en cada muestreo en la bahía de Santa Marta

La máxima diversidad tanto para el nivel superficial como profundo, se registró en septiembre. El mínimo valor de diversidad se dio en enero (ambos niveles de muestreo). Los valores de dominancia responden de manera inversa al comportamiento de la diversidad, mientras que la equidad no mostró un patrón predecible en el tiempo (Figura 22). La diversidad y la riqueza se correlacionaron de manera positiva para los muestreos de septiembre, noviembre y enero ($p < 0,05$).

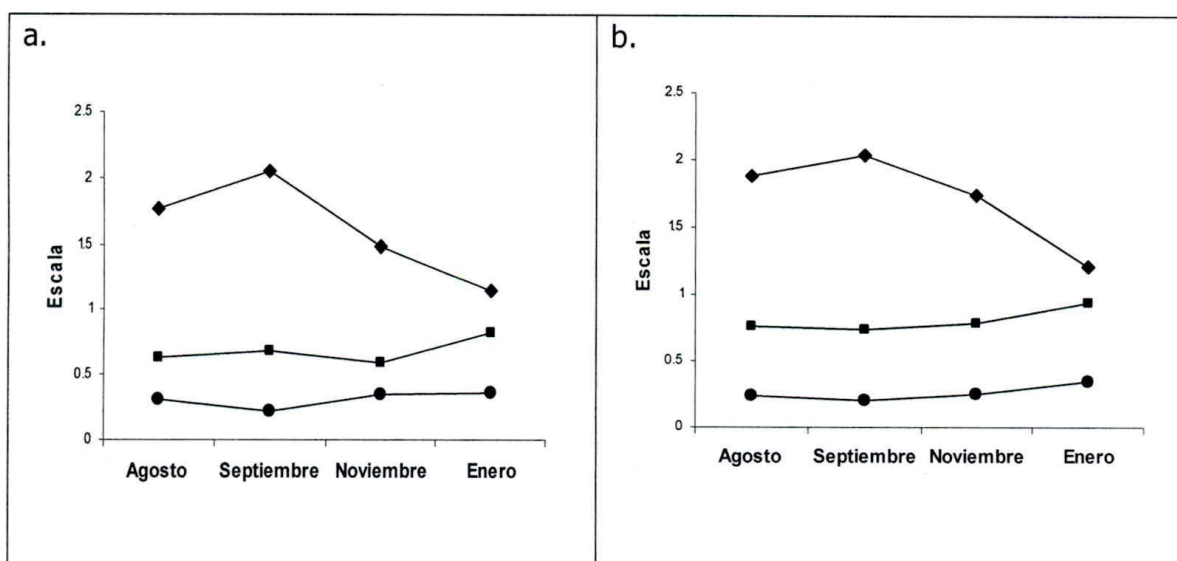


Figura 22. Variación temporal de la diversidad de la comunidad fitoplanctónica en la bahía de Santa Marta. —◆— Diversidad; —■— Equidad; —●— Dominancia. a. Nivel superficial; b. Nivel profundo.



5. DISCUSIÓN

5.1 Físicoquímicos

5.1.1 Temperatura y Salinidad

Los promedios de temperatura superficial (25,3 – 29,8 °C) y salinidad (33,9 – 37,3 UPS) registrados entre agosto de 2004 y marzo de 2005 en la BSM (Figuras 3 y 4), se encuentran dentro de los rangos reportados por Müller (1979) y Ramírez (1983), con temperaturas que varían entre 21 y 29 °C y salinidades entre 29 y 38 UPS.

Los cambios temporales de estas variables corresponden con los patrones de variación anual descritos por Ramírez (1983, 1990b) y (Franco 2005), los cuales se relacionan con los periodos climáticos y los respectivos eventos oceanográficos, variación temporal que también fue reportada por Franco (2001), Tigreros (2001), Barragán *et al* (2003) y Campos *et al* (2004), para áreas aledañas a la BSM.

La temperatura superficial del agua y la salinidad, presentaron sus valores más bajos y altos respectivamente durante los meses de diciembre a marzo debido a la entrada marcada de la época seca, el incremento de la intensidad del viento y el



evento de surgencia. Un efecto contrario sucedió durante la época lluviosa cuando el aumento de la nubosidad, la disminución del viento y la llegada de las precipitaciones, así como el aporte de ríos locales y la escorrentía, generaron incremento en la temperatura del agua y disminución de la salinidad.

5.1.2 Oxígeno Disuelto

Ramírez (1983) reporta para la bahía aguas bien oxigenadas durante todo el año con una media anual de 100,5%, lo cual contrasta con lo que se encontró en el presente estudio, cuyas concentraciones de oxígeno tendieron a la subsaturación a lo largo de todos los muestreos con valores de 22,2% a 88,8%. Esto pone de manifiesto que los procesos fotosintéticos y/o la acción de los vientos sobre las capas superficiales del agua, especialmente a lo largo de la época seca, no fueron suficientes para incrementar la concentración de oxígeno disuelto hasta estados de saturación o sobresaturación y es posible que se presenten eventos que lleven al consumo de oxígeno en la columna de agua.

Franco (2005), manifiesta que no se debe descartar que las aguas profundas que afloran de los eventos de surgencia pueden ser bajas en oxígeno, ya que en las capas profundas se presentan procesos de remineralización de la materia orgánica con el consiguiente consumo de oxígeno. Otro factor que debe tenerse en cuenta,



es el aporte continental de materia orgánica (río Manzanares, escorrentía) y su respectiva oxidación, causando posiblemente la subsaturaciones de oxígeno en la BSM.

5.1.3 pH

Los valores de pH registrados en la BSM (7,57 – 8,57) corresponden con lo reportado por Ramírez (1983), quien reporta una media anual de 8,22, valor considerado típico para el agua marina. La mínima variación entre superficie y fondo durante todos los muestreos (Figura 6) refleja condiciones de aguas bien tamponadas.

5.1.4 Transparencia

El valor de transparencia promedio para enero y marzo, fue más alto que el registrado en septiembre (Figura 7). Esto es atribuible a las masas de agua de naturaleza oceánica, mucho más claras que las costeras, que son impulsadas hacia la costa por los vientos alisios del Noreste (Andrade 2001). Para el muestreo de septiembre se presentó la transparencia promedio más baja, coincidente con la llegada de la época de lluvias y el posterior incremento en los caudales del río Manzanares, principal fuente de descarga continental en la BSM.



5.2 Nutrientes

En relación con las formas del nitrógeno, como el amonio y los nitritos se observa que sus concentraciones son relativamente bajas con características de aguas claras de tipo oligotróficas (Franco 2005), aunque se presentan ligeros incrementos en sus concentraciones en la época de lluvias, lo cual es respuesta al aporte de tipo continental de compuestos orgánicos nitrogenados que al ser oxidados tienden a pasar a la forma de nitratos. En enero también se registraron aportes sustanciales de este nutriente en el nivel profundo (Figura 8), registrados en estaciones ubicadas en aguas abiertas (frente al morro), esto puede ser debido a masas de agua del fondo como producto del evento de surgencia (Blanco 1988), que traen consigo remanentes de este nutriente de la época de lluvias, y que no puede ser degradado en su totalidad a sus formas inorgánicas por presentarse bajas concentraciones de oxígeno para este mismo muestreo (Figura 5). Es por esto, que la forma intermedia de nitrógeno, nitritos, tiende a presentarse en bajas concentraciones sin importar el período climático, sin embargo, en noviembre es evidente el incremento de este compuesto, el cual casualmente corresponde con el pico de lluvias. Se puede pensar en un sustancial aporte continental relacionado con aguas con elevada carga orgánica.



Por otra parte, las concentraciones de ortofosfatos tienden a ser altas en ambas épocas climáticas (Figura 9), indicando la influencia de aportes continentales en época de lluvias y a eventos oceanográficos en época seca (e.g. surgencia), comportamiento similar al reportado por Franco (2005), para la bahía de Gaira.

Los silicatos presentan cierta influencia generada por aportes continentales, dado que en la época de lluvias se presentaron las mayores concentraciones de este nutriente, como lo reporta Ramírez (1990a). Sin embargo, en época seca también se registraron altas concentraciones de silicatos que pueden haber quedado como remanente de la época de lluvias precedente, que por efecto del evento de surgencia fue resuspendido en la columna de agua (Blanco 1988). El rango encontrado en la BSM (0,298 – 77,193 $\mu\text{M/l}$) es similar al que reporta Ramírez (1990a, 1990b) para esta misma área (0,16 – 60,1 $\mu\text{M/l}$) y Rodríguez & Garzón (2003), para la bahía de Chengue en el parque Tayrona (<0,1 – 39,4 $\mu\text{M/l}$).

La disponibilidad de nutrientes en el mar conforma uno de los aspectos más complejos en este ambiente, ya que sus concentraciones están condicionadas por la acción conjunta de eventos físicos, químicos y biológicos (Franco 2005). La BSM no es ajena a esta complejidad, dado que en los nutrientes no evidencian tan



claramente, una fluctuación estacional como la que se presenta en otras variables fisicoquímicas del estudio.

5.3 Composición Taxonómica y Abundancia Fitoplanctónica

El fitoplancton de la BSM está constituido por especies típicamente tropicales y subtropicales de aguas neríticas, y en algunos casos de procedencia oceánica (Caicedo 1977). Las diatomeas fueron el grupo dominante tanto en número de especies como en abundancia en la BSM, siendo el género *Chaetoceros* el más dominante, género que para las aguas costeras presenta la mayor frecuencia y abundancia (Vidal y Carbonell 1977). Las especies de este género pueden dominar en el plancton por extensos periodos de tiempo siendo por lo tanto un componente integral de la ecología en los mares (Rines & Theriot 2003). La persistencia y abundancia de este género puede deberse a que producen esporas como uno de los mecanismos para sobrevivir a condiciones desfavorables, y la prevalencia de dichas esporas puede explicar el éxito de muchas especies de este género (Pitcher 1990). Otro género de diatomeas rico en especies fue *Nitzschia*, pese a que las especies de este género son numerosas generalmente en hábitats bentónicos y raramente planctónicas (Tomas 1993).



Los dinoflagelados fueron por lo general más escasos que las diatomeas, un aporte muy importante a este grupo los hicieron los géneros *Ceratium* y *Protoperidinium*, los cuales representaron el 77 % de las especies. El primero, tuvo su mayor representación en el mes de enero, dadas las características de aguas oceánicas que se presentan en esta época del año en la BSM; se constituye en uno de los géneros más importantes en el fitoplancton tropical debido a su gran cantidad de especies, siendo más común en las aguas oceánicas que en las aguas neríticas como lo presenta Carbonell (1982) para las Islas del Rosario. *Protoperidinium* se presenta en la BSM como una especie cosmopolita, siendo uno de los géneros de los dinoflagelados tecados con mayor número de especies; al parecer es exclusivamente marino y se halla presente en todos los mares (Balech 1988). Los grupos fitoplanctónicos restantes tuvieron un bajo aporte a la riqueza y a la abundancia comparado con diatomeas y dinoflagelados, los cuales son los elementos dominantes de casi todas las regiones de la plataforma continental (Odum 1982; Graham & Wilcox 2000).

La distribución de taxa entre los diferentes grupos del fitoplancton encontrados en la BSM y los reportes hechos para el Caribe colombiano y la zona costera de Santa Marta, coincide en que las diatomeas pennadas superan en número de especies a las diatomeas céntricas, y que los dinoflagelados se sitúan por encima o



por debajo de las diatomeas centrales (Caicedo 1977, Arias & Durán 1982, Franco *et al* 1992; Torres *et al* 1993; De la Hoz 1995). Es así como las diatomeas pennadas se ven favorecidas en número de especies, dada la proximidad de estas localidades de estudio a la costa, y por tanto de poca profundidad, facilitando que especies de hábitos bentónicos (*e.g. Nitzschia*), se mezclen con la columna de agua y por ende con las especies euplanctónicas.

5.4 Aporte de los Grupos Fitoplanctónicos

Según el patrón observado a lo largo de los muestreos se encontró que las mayores abundancias fueron coincidentes con la llegada de la época de lluvias (septiembre y noviembre) y las menores en la época seca. Este comportamiento puede ser atribuido, a los aportes hechos por el río Manzanares y las aguas que por escorrentía llegan a la bahía, las cuales arrastran consigo grandes cantidades de nutrientes y otros compuestos minerales que enriquecen sus aguas favoreciendo el crecimiento del fitoplancton. Sin embargo, se observa que para el mes de enero a pesar de presentarse condiciones aptas de transparencia, así como la oferta de nutrientes que permitirían soportar altas concentraciones fitoplanctónicas, ésta se ve disminuida sustancialmente. Este hecho puede deberse en gran medida a la alta abundancia del zooplancton para esta época (Vidal *et al* 2005), sugiriendo así una alta tasa de pastoreo por parte del



zooplancton. Dada la importancia que tiene para las diatomeas la oferta de silicatos, se observó que para los meses de mayores precipitaciones y aporte de aguas continentales, este grupo mostró el mayor porcentaje de abundancias. Los dinoflagelados tuvieron un incremento en el porcentaje de abundancia para el mes de enero, coincidente con la llegada de los vientos alisios que traen consigo algunas especies de aguas abiertas y de zonas profundas, producto del evento de surgencia (Carbonell 1982). También podría ser el caso de los cocolitofóridos que para este muestreo registraron sus mayores aportes a la abundancia del fitoplancton. Cabe resaltar que este es el primer acercamiento que se hace al estudio de este grupo, que debido a su escaso tamaño, dificulta las determinaciones taxonómicas.

5.5 Variación Espacio-Temporal de la Comunidad Fitoplanctónica

Para los diferentes muestreos realizados en la BSM tanto en superficie como en fondo, no se presentan claros patrones de agrupamiento espacial. Lo más relevante es la agrupación de las estaciones localizadas al oeste y noroeste de la desembocadura del río Manzanares. Esto muestra el papel importante que ejerce el río sobre la distribución espacial del fitoplancton de la BSM. La entrada de agua dulce en el sistema marino propicia ambientes heterogéneos tanto a nivel espacial como temporal, debido a los gradientes que se mantienen continuamente por la



presencia de aguas dulces y saladas (Lloret *et al* 2004). A escala temporal, la comunidad fitoplanctónica también presentó diferencias, tanto en su composición como en su abundancia. Las diferencias son debidas principalmente a la dominancia en número de especies y a sus abundancias, que presentó cada grupo fitoplanctónico a través de los muestreos. Es así, como las diatomeas céntricas tuvieron su mayor representación en los dos primeros muestreos, y las diatomeas pennadas en el muestreo de noviembre como resultado de los aportes continentales, que enriquecen las aguas costeras y favorecen el crecimiento de las diatomeas (Licea & Santoyo 1991) . El muestreo de enero estuvo caracterizado por los dinoflagelados y coccolitofóridos, producto del aporte de tipo oceánico y de aguas profundas que trae consigo la llegada de los vientos alisios y por tanto el evento de surgencia (Ramírez 1983; Franco 2005). La dinámica del fitoplancton en la BSM se ajusta a lo establecido por González (1988), quien afirma que las variaciones estacionales del plancton dependen del efecto de las precipitaciones y muy especialmente, del régimen anual de vientos. A su vez estos factores determinan el comportamiento de las variables físicoquímicas y de los nutrientes inorgánicos, como producto de los aportes continentales y a la resuspensión originada por el evento de surgencia (Ramírez 1990b).



La diversidad de Shannon Weanner en la BSM se ajusta al comportamiento descrito por Margalef (1983), el cual afirma que en las zonas costeras la diversidad del fitoplancton suele estar entre 0,69 y 1,73 nats, siendo especialmente baja en estuarios y en áreas de afloramiento. Esto último coincide con los valores bajos de diversidad registrados en los muestreos de noviembre y enero, siendo en noviembre cuando se presentaron las mayores precipitaciones y descargas continentales dándole ciertas características estuarinas a la BSM; y en enero por la presencia de condiciones oceanográficas que caracterizan el evento de surgencia. Los meses de agosto y septiembre presentaron los valores más altos de diversidad, y son generalmente categorizados como época de transición entre las lluvias y la época seca, lo que puede estar generando cierta heterogeneidad espacial y ambiental, es decir, propiciando muchos hábitats diferentes y por lo tanto una mayor diversidad fitoplanctónica (Krebs 2003).

Con respecto a la relación entre la diversidad y la riqueza, para el muestreo de agosto se registró el mayor número de especies con una diversidad (1,768 nats) un poco por debajo de la que se encontró en el muestreo de septiembre (2,050 nats). Lo anterior indica para el caso de la BSM que no siempre se mantiene la tendencia de incremento en la diversidad con el aumento en el número de especies. Es importante anotar que la diversidad tiene en cuenta la abundancia de



cada especie, por tanto aunque haya muchas especies pero con abundancias desiguales o no equitativas, los valores de diversidad no aumentarán (Margalef 1983).

Analizando la diversidad desde otra perspectiva, los datos obtenidos en la BSM pueden dar una aproximación de su estado de polución, dado que la contaminación del agua determina un descenso de la diversidad, tanto por establecer condiciones drásticas que pocas especies pueden resistir, como por estimular el fuerte desarrollo de unas pocas especies en ambientes altamente fluctuantes e inestables. La diversidad y sus variaciones, son por tanto, un excelente indicador de polución (Margalef 1983). Es aceptable, que las variaciones estacionales de las condiciones oceanográficas y climatológicas, sumadas a las modificaciones de las condiciones naturales de la zona pueden homologarse con condiciones fluctuantes que sin duda generan cambios en las comunidades biológicas y por ende en sus atributos ecológicos.

5.6 Biomasa Fitoplanctónica

La concentración de clorofila *a* en la BSM es variable a lo largo del año y responde a los patrones climáticos que influyen la región, encontrando diferencias significativas ($p < 0,001$) entre los muestreos. Durante la época lluviosa



(septiembre y noviembre) se presentaron las mayores concentraciones en comparación con la época seca (enero), y se presentó una diferencia significativa ($p < 0,001$) entre las profundidades, cuyos mayores valores de clorofila *a* se obtuvieron en las capas superficiales.

Las concentraciones de clorofila *a* registradas para la época lluviosa en la BSM en este estudio ($0,212 - 6,672 \mu\text{M/L}$) son menores a lo reportado por Barragán *et al.* (2003) para la ensenada de Gaira, sin embargo se conserva el mismo patrón de variación vertical con mayores concentraciones en las capas superficiales de la columna de agua ($4,38 \mu\text{g/l}$) y las menores entre los 15 y 42 m de profundidad ($0,10 \mu\text{g/l}$).

Para la época seca se obtuvieron concentraciones de $0,445 - 1,482 \mu\text{M/L}$ valores menores a lo reportado por Campos *et al.* (2004), cuyo patrón vertical es diferente a lo observado en la BSM, con valores de 0,21 en la superficie y $2,24 \mu\text{g/l}$ cerca de los 15 m de profundidad. Este comportamiento lo atribuyen a que la fertilización del agua por efecto de la surgencia no es significativa con respecto al aporte de tipo continental.



Franco (2001) y Tigreros (2001), reportan valores de clorofila *a* para la Isla de Salamanca y el Parque Tayrona más altos que los registrados para la bahía de Santa Marta y zonas aledañas con rangos que van entre 7,6 $\mu\text{g/l}$ – 96,1 $\mu\text{g/l}$ y 7,2 $\mu\text{g/l}$ – 75,0 $\mu\text{g/l}$ respectivamente, pero se mantiene el patrón estacional de variación de clorofila *a*.

La biomasa fitoplanctónica mostró una correlación positiva con la temperatura y la salinidad, indicando que no sólo los nutrientes (correlación positiva con los ortofosfatos) determinan los valores de clorofila *a*, sino que también estos factores cumplen un papel fundamental en la regulación de esta variable biológica. Se puede realizar cierta inferencia con respecto a la dinámica espacial y temporal que rige a la biomasa fitoplanctónica en la BSM, cuyo comportamiento sigue un orden de influencia en el que los factores físicos parecen estar regulando en mayor medida la acción del fitoplancton y en segundo orden los nutrientes.

La BSM y sus áreas adyacentes son sistemas tropicales que suponen muy pocas variaciones a lo largo de un ciclo anual (Lalli & Parsons 1997). Sin embargo, la clara dinámica oceanográfica e hidrográfica a la que se ve sometida la zona (Blanco 1988; Ramírez 1990b), podría ser la responsable de las variaciones temporales en la biomasa fitoplanctónica. Franco (2005) alude que esta dinámica



es caracterizada por la fertilización con nutrientes a la plataforma continental, durante la época de lluvias por los aportes continentales de la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM), el río Magdalena y los ríos locales (río Manzanares); y en la época seca por el evento de surgencia que trae aguas profundas con nutrientes nuevos que favorecen a las comunidades fitoplanctónicas y muy probablemente a la producción primaria. Es contrastante encontrar que las menores concentraciones de clorofila *a* se dan en esta época de surgencia, pero tal y como lo plantea Blanco (1988) la surgencia del Caribe colombiano es pobre en nutrientes.

Los estudios realizados en otros sistemas tropicales y en diferentes puntos a lo largo del mar Caribe colombiano (Anexo 5), sugieren que la BSM y sus aguas adyacentes al presentar concentraciones de clorofila más altas, comprenden una zona de alta oferta alimenticia y posiblemente de alta producción primaria (Franco 2005).

La BSM presenta un buen número de características muy particulares pasando por eventos de surgencia, entrada de aguas continentales y llegando hasta la presencia de altas concentraciones fitoplanctónicas, por mencionar sólo algunas de ellas. Esto permite dilucidar que desde el punto de vista oceanográfico y



específicamente por las características fisicoquímicas y biológicas, la BSM tiene un valor ecológico muy alto. Por tanto, se convierte en un laboratorio natural en donde se puede evaluar de manera integral el impacto de las aguas de origen continental, el de la surgencia, la actividad humana o el de flujos tróficos tomando como base la oferta de alimento fitoplanctónico. Es importante recordar que todas estas inferencias se hacen a partir de las características presentes en la columna de agua, por lo cual, otras comunidades y ecosistemas también guardan otros atributos para la BSM.

Todas estas consideraciones permiten tener una visión global de la BSM, y tener argumentos para valorar y entender por qué es fundamental su cuidado. No solamente para mantener una buena calidad para beneficios del hombre, sino porque su mantenimiento permitirá responder a muchos interrogantes sobre un sistema marino tan dinámico como éste.



6. CONCLUSIONES

- El fitoplancton colectado en la BSM está constituido por especies tropicales de aguas neríticas y en algunos casos de procedencia oceánica.
- El grupo taxonómico dominante tanto cualitativa como cuantitativamente fueron las diatomeas. Los géneros *Chaetoceros* y *Nitzschia* aportaron el mayor número de especies. Los dinoflagelados realizaron un aporte sustancial de especies con los géneros *Ceratium* y *Protopeidinium*.
- El patrón temporal observado en la abundancia fitoplanctónica, indica mayores concentraciones en la época de lluvias y un descenso en la época seca.
- La confluencia del río Manzanares parece provocar condiciones ambientales diferentes que separa las estaciones de la parte oeste al río, dando lugar a la semejanza de estas estaciones y formándose grupos entre ellas a lo largo de todos los muestreos.



- No se encontraron argumentos suficientes que pusieran de manifiesto la influencia que ejerce el emisario submarino sobre la comunidad fitoplanctónica.
- La variación temporal de la diversidad en la BSM se ajusta a un comportamiento típico de aguas costeras.
- La biomasa fitoplanctónica se correlacionó significativamente con la temperatura y la salinidad, indicando que no sólo los nutrientes determinan los valores de clorofila, sino que también estos factores cumplen un papel fundamental en la regulación de este parámetro biológico.
- La biomasa fitoplanctónica en la BSM es variable a lo largo del año y responde a los patrones climáticos que influyen la región, encontrando las mayores concentraciones en la época lluviosa y las menores en la época seca.



7. RECOMENDACIONES.

- Ampliar el gradiente vertical para tener una visión más completa de la dinámica de la columna de agua, tanto en factores bióticos como fisicoquímicos.
- Realizar estudios que involucren clases de tamaño de la comunidad fitoplanctónica, con el fin de establecer que elementos de ella están haciendo mayores aportes a la biomasa.
- Realizar estudios que determinen el grado de influencia que ejerce el río sobre la comunidad fitoplanctónica.
- Se crea la necesidad de realizar estudios detallados en la zona de influencia del emisario, que permitan establecer el efecto real de los vertimientos sobre las condiciones fisicoquímicas y biológicas de esta zona.





- Realizar estudios experimentales que permitan probar con mayor detalle el grado de influencia que ejercen la salinidad y la temperatura sobre la biomasa fitoplanctónica.
- Incluir análisis de sólidos suspendidos y disueltos, nitratos, nitrógeno orgánico y fósforo total, como complementos explicativos de las tendencias mostradas por las variables fisicoquímicas medidas en este estudio.



8. BIBLIOGRAFÍA

Acleto, C. 1973. Cianófitas de las Costa Atlántica Colombiana. Bol. Museo del Mar. UBJTL.

Anagnostidis, K. & J. Komarek, 1988. Modern approach to the classification system of cyanophytes, 3- Oscillatoriales. Arch. Hydrobiol. Suppl. 80, 1-4 (Algological Studies 50- 53). 327- 472.

Andrade, C.A. 1993. Análisis de la velocidad del viento en el mar Caribe. Bol. Cient. CIOH. 13: 33-43.

Andrade, C.A. 2001. Las corrientes superficiales en la cuenca de Colombia observadas con boyas de deriva. Rev. Acad. Colomb. Cienc, vol. 25, 96: 321-335.

Arias, F.A & J.C. Durán., 1982. Variación anual del fitoplancton en la bahía de Cartagena para 1980. Tesis para optar al título de Biólogo Marino. Facultad de Biología Marina. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Santa Marta. 69 pp.

Ariyadej, Ch., Tansakul., R. Tansakul & S. Angsupanich. (2004). Phytoplankton diversity and its relationships to the physico-chemical environment in the



Banglang Reservoir, Yala Province. Songklanakarin J. Sci. Technol. 26(5): 595-607.

Arosemena, D. 1973 Algunos dinoflagelados y diatomeas de la bahía de Cartagena y sus alrededores. Publicaciones Museo del Mar. UBJTL.

Balech, E. 1988. Los dinoflagelados del Atlántico sudoccidental. Publ. Epec. Inst. Esp. Oceanogr. No.1. Madrid. 310 pp., 88 lams.

Barragán, R.G., F. Maldonado., S. Nieto & G. Pinto. 2003. Relación de la biomasa fitoplanctónica con la dinámica fisicoquímica y meteorología de la capa de mezcla en la bahía de Gaira, Caribe colombiano, durante el período agosto-noviembre de 2003. Seminario de investigación. Facultad de Biología Marina. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Santa Marta. 57 pp.

Bianchi, T. S., C. Lambert & D. C. Biggs. 1995. Distribution of chlorophyll a and phaeopigments in the northwestern Gulf of Mexico. A comparison between fluorometric and high performance liquid chromatography measurements. Bull. Mar. Sc. 56(1): 25-32.

Blanco, J. A., 1988. Las variaciones ambientales estacionales en las aguas costeras y su importancia para la pesca en la región de Santa Marta, Caribe colombiano. Tesis de maestría, Universidad nacional de Colombia. 50 pp.



Cabrera, E & M. C. Donoso. 1993. Estudio de las características oceanográficas del Caribe colombiano. Región III, Zona I, PDCTM. Bol. Cient. CIOH. 13: 19-32.

Caicedo, I. 1977. Fitoplancton de bahía de Neguanje (Parque Nacional Natural Tayrona), Mar Caribe colombiano. An. Inst. Inv. Mar. Punta Betín 9 :17-44.

Campbell, E.E., W.T. Knoop & G.C. Bate. 1991. A comparison of phytoplankton biomass and primary production in three Eastern Cape estuaries, South Africa. South African Journal of Science. 87(6) : 259-264.

Campos, E.M., J. Orejarena., A. González & M. Palomino. 2004. Dinámica de la biomasa fitoplanctónica en la capa de mezcla y su relación con la oceanometeorología de la bahía de Gaira, Caribe colombiano. Seminario de investigación. Facultad de Biología Marina. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Santa Marta. 62 pp.

Carbonell, M. 1982. *Ceratium* Shrank (Dinoflagellates, Peridinales) de las islas del Rosario, Caribe colombiano. An. Inst. Inv. Mar. Punta Betín 12 :71-91.

Carlsson, P. & E. Graneli. 1993. Availability of humic bound nitrogen for coastal phytoplankton. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 36(5) : 433-447.

Clarke, K. R., Warwick, R. M. 2001. Change in marine communities: an approach to statistical analyses and interpretation, second edition PRIMER-E: Plymouth,



Cloern, J. E. , T. M. Powell & L. M. Huzzey. 1989. Spatial and temporal variability in South San Francisco Bay (USA). II. Temporal changes in salinity, suspended sediments and phytoplankton biomass and productivity over tidal times scales. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 28(6) : 599-613.

Cupp. E.E. 1943. Marine plankton diatoms from the west coast of North America. *Bull. Scripps Inst. Oceanogr.*, 5, 1-238.

Dawes, C. J. 1986. *Botánica Marina*. Editorial Limusa. México. 673 pp.

De la Hoz, M. 1995. Estudio de la variación temporal y espacial del fitoplancton de la bahía de el Rodadero, Santa Marta, para el período comprendido entre agosto y octubre de 1995. Seminario de investigación. Facultad de Biología Marina. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Santa Marta. pp. var + anexos.

Díaz-Merlano, J.M. 1990. Estudio ecológico integrado de la zona costera de Santa Marta y Parque Nacional Natural Tayrona. Programa de Ecosistemas Marinos. INVEMAR. Santa Marta. 54 pp.

Duarte, G. 1996. Estructura del fitoplancton del Noroeste de la Guajira durante el crucero Caribe 1-93. Tesis para optar al título de Biólogo Marino. Facultad de Biología Marina. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Santa Marta. 182 pp.

Feraz-Reyes, E. 1992. Fitoplancton de la ensenada de Canguas, Península de Paria, estado Sucre, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela. Univ. Oriente*. 31(1&2): 17-26.



Fichez, R., T.D. Jickells & H.M. Edmunds. 1992. Algal blooms in high turbidity, a result of the conflicting consequences of turbulence on nutrient cycling in a shallow water estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 35(6) : 577-592.

Franco A., 2001. Estrategias de ingestión y flujo de carbono entre fitoplancton y *Eucalanus spp.* (Copepoda: Calanoida) en dos ambientes oceanográficos del Caribe central colombiano. Centro de Investigaciones Científicas. Facultad de Biología marina. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Santa Marta. pp. 67 p.

_____. 2005. Oceanografía de la Ensenada de Gaira: El Rodadero, más que un centro turístico en el Caribe colombiano. Bogotá: Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. 56 p.

Franco, A., D. Avendaño., W. Bernal & M. Uribe. 1992. Contribución al conocimiento del plancton de Isla Tesoro, Parque Nacional Natural Corales del Rosario, Caribe colombiano. *Memorias VII Seminario Nacional de Ciencias y Tecnologías del Mar y 1er Congreso Centroamericano y del Caribe del Mar*, CCO: 754-762.

Garay - Tinoco, J. , G. Ramirez T. , J. Betancour P. , B. Marin S. , B. Cadavid. , L. Panizzo. , L. Lesmes. , J. E. Sanchez. , S. H. Lozano. , A. Franco. 2003. Manual de técnicas analíticas de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos: Aguas, sedimentos y organismos. Invemar: Santa Marta, 117 p (Serie de documentos generales; No 13).





Gómez-Aguirre, S. 1974a. Reconocimientos estacionales de hidrología y plancton en la laguna de Términos, Campeche, México (1964/1965). An. Centro Cienc. Del Mar y Limnol. Univ. Autón. México. 1(1): 61-82.

Gómez-Aguirre, S. 1974b. Observaciones planctonológicas en la bahía de Cartagena. Memorias I Simposio Latinoamericano en Oceanografía Biológica (México).

González, A. 1988. El plancton de las aguas continentales. Secretaria General de la Organización de los Estados Americanos, OEA. Monografía N° 33. Washington, D.C. 130 pp.

Graham, L. & L. Wilcox. 2000. Algae. Edit. Prentice Hall. 640pp.

Harrison, P., M.H. Hu, Y.P. Yang & X. Lu. 1990. Phosphate limitation in estuarine coastal waters of China. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 140(1-2): 79-87.

Halim, Y. 1967. Dinoflagellates of the South-East Caribbean Sea (East-Venezuela). Int. Revue ges. Hydrobiol 52 (5):701-755.

Hendey, N.I. 1964. Bacillariophyceae (Diatoms). In: An introductory account of the smaller algae of British coastal waters, pt. V, 317 pp. Fishery Invest. Ser. IV, London.



Herman, R. 1970. Las causas de la sequía en la región costera de Santa Marta, Colombia. Rev. Acad. Col. Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. 3(52) : 479-489.

Invemar, 2003. Informe del estado de los ambientes marinos y costeros en Colombia: Año 2002. Serie de publicaciones periódicas N° 8. Santa Marta, Colombia.

Komarek, J. & K. Anagnostidis. 1986. Modern approach to the classification system of cyanophytes, 2- Chroococcales. Arch. Hydrobiol. Suppl. 73, 2 (Algological studies 43). 157- 226.

_____. 1989. Modern approach to the classification system of cyanophytes, 4- Nostocales. Arch. Hydrobiol. Suppl. 82, 3 (Algological studies 56). 247- 345.

Krebs, C. 2003. Ecología: Estudio de la distribución y abundancia. Segunda edición Oxford University Press. México 753 pp.

Lalli, C. & T. Parsons. 1997. Biological oceanography: an introduction. Butterworth Heineman. Canada. 314 pp.

Lara-Lara, J.R. , B.E. Frey & L.F. Small. 1990. Primary production in the Columbia River estuary. Spatial and temporal variability of properties. Pacific Science. 44(1): 17-37.



Lehman, P. W & R. W. Smith. 1991. Environmental factors asociated with phytoplankton sucesión for the Sacramento-San Joaquin delta and suisun Bay estuary, California. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 32(2) :105-128.

Licea-Durán, S. 1974. Sistemática y Distribución de diatomeas de la laguna de Agiabampo, México. *An. Centro. Cienc. del Mar y Limnol*. 1(1): 99-156.

Licea, S. & H. Santoyo. 1991. Algunas características ecológicas del fitoplancton de la región central de la bahía Campeche. *Ana. Inst. Ciec. Mar y Limnol*. 20(2) : 8-21.

Lloret, J., I. Palomera., J. Salat & I. Sole. 2004. Impact of freshwater input and wind on landings of anchovy (*Engraulis encrasicolus*) and sardine (*Sardina pilchardus*) in shelf waters surrounding the Ebre (Ebro) River delta (north-western Mediterranean). *Fish. Oceanogr*. 13(2): 102–110.

Magnien, R.E., R.M. Summers & K.G. Sellner. 1992. External nutrients sources, internal nutrient pools, and phytoplankton production in Chesapeake Bay. *Estuaries*. 15(4): 497-516.

Magurran, A. E. 2004. *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Publishing Company. USA. 256 pp.

Margalef, R. 1957. Fitoplancton de las costas de Puerto Rico. *Revista de Investigación Pesquera* Tomo VI: 39-52.

Margalef, R. 1983. *Limnología*. Ediciones Omega, S.A. Barcelona, 1010 pp.



Marín, B., J.A. Garay., L.B. Vivas., J.A. Acosta., J. Betancourt., G. Ramírez., B. Cadavid., M.L. Gómez & W. Troncoso. 2004. Diagnóstico de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombiano. Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia - REDCAM. INVEMAR. Santa Marta. 301 pp.

Márquez, G y M. Herrera. 1986. Estudio en la abundancia del fitoplancton y su distribución geográfica durante el crucero Océano VII, Área I, Archipiélago de San Andrés y Providencia. Informe final. Universidad Nacional. Facultad de Biología. 206 pp.

Marshall, H.G. & R.W. Alden. 1990. A comparison of phytoplankton assemblages and environmental relationships in three estuarine river of the lower Chesapeake Bay. *Estuaries*. 13(3) : 287-300.

Martin, J. 1995. Marine Biodiversity Monitoring. Protocol for monitoring Phytoplankton. Canada. 15 pp.

Metroagua. 2003. Beneficios y eficiencia del Emisario Submarino de la ciudad de Santa Marta. Informe Ejecutivo.

Müller, K. 1979. Interrelaciones entre la salinidad y la temperatura en la bahía de Santa Marta. *An. Inst. Inv. Mar. Punta Betín* 11: 2198-226.

Odum, E. 1982. Ecología. Tercera edición. Nueva editorial interamericana. México, 639 pp.



Phillips, E. J & S. Badylak. 1996. sapatial variability in phytoplankton satnading crop and composition in a shallow inner-shelf lagoon, Florida Bay. Bull. Mar. Sc. 58(1): 203-216.

Pitcher, G. C. 1990. Phytoplankton seed populations of the Cope peninsula upwelling plume with particular reference to resting spores of *Chaetoceros* (Bacillariophyceae) and their role in seeding upwelling waters. Estuarines Coastal and Shelf Science 31: 213-301.

Ramírez, G. 1983. Características Fisico-químicas de la bahía de Santa Marta. (Agosto 1980-Julio 1981). An. Inst. Inv. Mar. Punta Betín 13: 111-121.

_____. 1990a. Variación de parámetros hidrográficos y su relación con el proceso de surgencia en la Bahía de Santa Marta. En: Estudio del macrozoobentos de la Bahía de Santa Marta. Informe final Invemar. Cáp 3.

_____. 1990b. Distribución de nutrientes inorgánicos en las aguas costeras de la región de Santa Marta, Caribe colombiano. Memorias VII seminario nacional de las ciencias y tecnologías del mar. CCO. 244-254.

Reynolds, C. S. 1987. The response of phytoplankton communities to changing lake environments. Shhwelz. Z. Hidrol. 49(2): 220-236.

Rines, J.E. & E.C. Theriot. 2003. Systematics of Chaetocerotaceae (Bacillariophyceae). I. A phylogenetic análisis of the family. Phycological Research 51: 83-98.



Rodríguez, C. & R. Varela. 1987. pigmentos clorofílicos e hidrografía en la región noroccidental de Venezuela con énfasis en el Golfo de Venezuela. An. Inst. Inv. Mar. Punta Betín. 17: 3-14.

Rodríguez, A. & J. Garzón. 2003. Monitoreo de arrecifes coralinos, pastos marinos y manglares en la bahía de Chengue (Caribe colombiano) 1993-1999. INVEMAR. Serie de publicaciones especiales. No 8. Santa Marta. 170 pp.

Round, F.E., R.M. Crawford & D.G. Mann. 1990. The Diatoms, biology and morphology of the genera. Cambridge University Press. 747 pp.

Santoyo, H. & M. Signoret. 1979. Fitoplancton de la laguna del mar muerto en el sur del pacífico de México. An. Centro. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México. 6(2): 71-80.

Simonsen, R., 1979. The diatom system, Ideas on phylogeny. Bacillaria 2, Braunschweig, J. Cramer, 9/71 pp.

Soto, Y., M. Bianchi, J. Martínez & J. Vives-Rego. 1993. Seasonal evolution of microplanktonic communities in the estuarine front ecosystem of the Rhone River plume (North-Western Mediterranean Sea). Estuarine, Coastal and Shelf Science. 37(1) : 1-13.

Sournia, A. 1968. Le genre *Ceratium* (péridinien planctonique) dans le Canal de Mozambique. Contribution á une révision mondiale. Vie Milieu, Sér. A : Biologie marine, 18 (2, 3, A) : 375-499.



Tait, R.V. 1987. Elementos de Ecología Marina. Editorial Acribia. Zaragoza, España. 446 pp.

Tomas, C. R., (Ed). 1993. Marine phytoplankton, a guide to naked flagellates and coccolithophorids. Academic press, 263 pp.

Torres, A., F. Martínez., O. Duarte & R. Orozco. 1993. Caracterización del fitoplancton para el período comprendido entre los meses de Agosto-Septiembre de 1993 en la bahía de Gayraca, Parque Nacional Natural Tayrona. Caribe colombiano. Seminario de investigación. Facultad de Biología Marina. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Santa Marta. Pp. var + anexos.

Tigreros, P. 2001. Biodiversidad y valoración bioquímica del fitoplancton marino en ambientes costeros mesotróficos y oligotróficos tropicales, Caribe colombiano. Tesis para optar al título de Biólogo Marino. Facultad de Biología Marina. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Santa Marta. 173 pp.

Van den Hoeck, C., D.G. Mann & H.M. Jahus. 1995. Introduction to phycology. Cambridge, University Press. 623 pp.

Vidal, L.A. & M.C. Carbonell. 1977. Diatomeas y dinoflagelados de la bahía de Cartagena. Tesis de grado. U.J.T.L. Bogotá. Col. 360 pp., 56 lams.



Vidal, L. A. 1995. Estudio del fitoplancton en el Sistema lagunar estuarino tropical Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia, durante el año 1987. Tesis de grado, Magíster Scientiae. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 206p+62 láminas.

Vidal, L.A., S. Vilardy., L. Saavedra., L.M. Ramos., G. Pinto y S. Pérez. 2005. Estudio de la calidad del agua en la bahía de Santa Marta, un análisis histórico y geoestadístico dirigido a un plan de monitoreo. Informe final. Convenio DADMA-UNIMAG. 105 pp. 85 anexos.

Webber, D. F & J. C. Roff. 1996. influence of Kingston Harbor on the phytoplankton community of the nearshore coast, southeast Jamaica. Bull. Mar. Sc. 59(2): 245-258.

Yacubson, S. 1972. Catálogo e iconografía de las Cianophyta de Venezuela. Bol. Cent. Invest. Biol., Univ. Zulia. Venezuela. 5: 78 pp., 17 lams.



Fitoplancton de la Bahía de Santa Marta



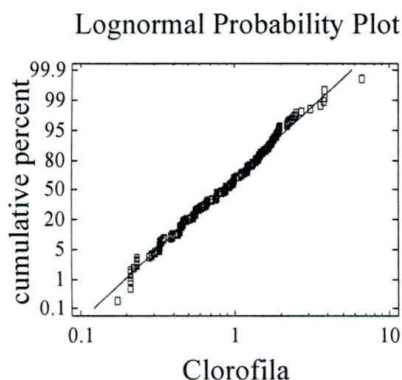
Dadma-Unimag
CONVENIO DE DESARROLLO TECNOLÓGICO Y CIENTÍFICO ENTRE LA UNIVERSIDAD MAGDALENA Y EL DADMA

ANEXOS



Anexo 1. Transformaciones realizadas a los datos de clorofila *a*. a) Distribución de probabilidad Log normal de los datos de clorofila *a* en la bahía de Santa Marta. b) Prueba de Chi-cuadrado. C) Test de normalidad y de homogeneidad de varianzas. d) Histograma de frecuencias de los datos de clorofila *a* en la bahía de Santa Marta.

a)



b)

Goodness-of-Fit Tests for Clorofila

Chi-Square Test				
Lower Limit	Upper Limit	Observed Frequency	Expected Frequency	Chi-Square
at or below	0.378645	33	32.00	0.03
0.378645	0.497182	38	32.00	1.13
0.497182	0.605071	29	32.00	0.28
0.605071	0.715622	27	32.00	0.79
0.715622	0.827146	26	32.00	1.12
0.827146	0.979305	29	32.00	0.28
0.979305	1.15823	33	32.00	0.03
1.15823	1.40957	36	32.00	0.50
1.40957	1.65084	42	32.00	2.13
above	1.65084	27	32.00	0.78

Chi-Square = 8.06301 with 7 d.f. P-Value = 0.327071

Estimated Kolmogorov statistic DPLUS = 0.041042
Estimated Kolmogorov statistic DMINUS = 0.0420628
Estimated overall statistic DN = 0.0420628
Approximate P-Value = 0.623056

EDF Statistic	Value	Modified Form	P-Value
Kolmogorov-Smirnov D	0.0420628	0.757749	>=0.10
Anderson-Darling A*2	0.6839	0.6839	>=0.10

C)

Variance Check

Cochran's C test: 0.567394 P-Value = 0.088244
Bartlett's test: 1.00921 P-Value = 0.0882403
Hartley's test: 1.31157
Levene's test: 2.50347 P-Value = 0.114589

Tests for Normality for LOG10

Computed Chi-Square goodness-of-fit statistic = 128.163
P-Value = 1.4948E-12

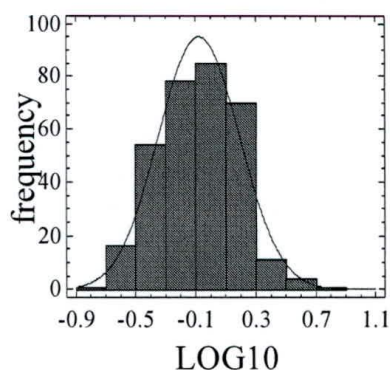
Shapiro-Wilks W statistic = 0.981886
P-Value = 0.315456

Z score for skewness = 0.188026
P-Value = 0.850852

Z score for kurtosis = -0.368111
P-Value = 0.712787

d)

Histogram for LOG10





Anexo 2. a) Análisis de varianza de dos factores. b) Test de comparación múltiple de Tukey.

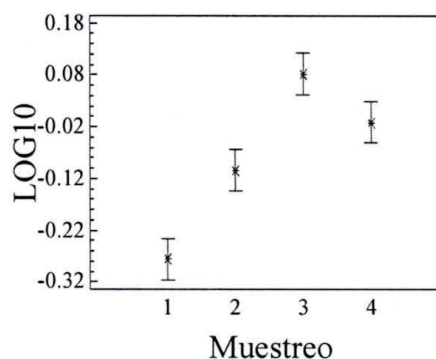
a

Analysis of Variance for LOG10 - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F-Ratio	P
MAIN EFFECTS					
A:Muestreo	5.56303	3	1.85434	47.84	
B:Nivel	2.0646	1	2.0646	53.26	
INTERACTIONS					
AB	3.34032	3	1.11344	28.73	
RESIDUAL	12.0934	312	0.038761		
TOTAL (CORRECTED)	23.0614	319			

b

Means and 95.0 Percent Tukey HSD Intervals





Fitoplancton de la Bahía de Santa Marta



Anexo 3. Listado taxonómico de las especies de fitoplancton registradas en la Bahía de Santa Marta. Organización jerárquica según Balech, 1988; Simonsen, 1979; Tomas, 1993 & Van den Hoek *et al* 1995.

DIATOMEAS	Familia	Especie
Orden Centrales	Thalassiosiraceae	<i>Thalassiosira</i> cf. <i>deciens</i> Grunow
		<i>T. excentrica</i> Ehrenberg
		<i>T. lineata</i> (Schmidt) Fryxell & Hasle
		cf. <i>Th. puntigera</i> (Castracane) Hasle
		<i>Thalassiosira</i> sp.1 Cleve
		<i>Cyclotella glomerata</i> H. Banchm
		<i>C. cf. planctonica</i> Brunnthaler
		<i>Skeletonema costatum</i> (Greville) Cleve
		<i>Planktoniella sol</i> (Wallich) Schutt
	Melosiraceae	<i>Paralia sulcata</i> (Ehrenberg) Cleve
		cf. <i>Porosira</i> sp. Jørgensen
		cf. <i>Melosira</i> sp. Agardh
		<i>Lauderia borealis</i> Gran
		<i>Leptocylindrus danicus</i> Cleve
	Coccinodiscaceae	<i>Corethron criophyllum</i> Castracane
		<i>Coccinodiscus excentricus</i> Ehrenberg
		<i>C. radiatus</i> Ehrenberg
		<i>C. gigas</i> Ehrenberg
		<i>C. granii</i> Gough
		<i>C. cf. jonesianus</i> (Greville) Ostenfeld
		<i>Coccinodiscus</i> sp.1 Ehrenberg
		<i>Coccinodiscus</i> sp.2 Ehrenberg
		<i>Coccinodiscus</i> sp.3 Ehrenberg
		<i>Coccinodiscus</i> sp.4 Ehrenberg
		<i>Coccinodiscus</i> sp.5 Ehrenberg
	Gosleriellaceae	<i>Gosleriella tropica</i> Schutt
	Hemidiscaceae	<i>Actinocyclus normanii</i> (Greg. ex Grev.) Hustedt
		<i>A. octonarius tenellus</i> Ehrenberg
		<i>Azpeitia africana</i> (Janisch ex A.Schmidt) Fryxell & Watkins
		<i>A. nodulifera</i> (A. Schmidt) Fryxell and Sims
	Asterolampraceae	<i>Hemidiscus hardmanianus</i> (Greville) Mann
		<i>Asteromphalus cleveanus</i> Grunow
		<i>A. flabellatus</i> (Brebisson) Greville
		<i>A. heptactis</i> (Brebisson) Ralfs
	Heliopeltaceae	<i>Actinoptichus splendens</i> (Shädbolt) Ralfs
	Rhizosoleniaceae	<i>Rhizosolenia acuminata</i> (Perag) Gran
		<i>Rh. clevei</i> Ostenfeld
		<i>Rh. cf. formosa</i> (Peragallo)
		<i>Rh. imbricata</i> Brightwell
		<i>Rh. setigera</i> Brightwell
		<i>Rh. styliformis</i> Brightwell
		<i>Rhizosolenia</i> sp. (Ehrenberg) Brightwell





Biddulphiaceae

Pseudosolenia calcaravis Sundstrom
Proboscia alata f. *gracillima* (Cleve) Grunow
P. alata f. *indica* (Peragallo) Ostenfeld
Calyptrella robusta (Norman) Hernandez & Meave
Guinardia cylindrus (Cleve) Hasle
G. flaccida (Castracane) Peragallo
G. striata (Stolterfoth) Hasle
Dactyliosolen fragilissimus (Bergon) Hasle
Hemiaulus haukii Grunow
H. membranaceus Cleve
H. sinensis Greville
Climacodium biconcavum Cleve
Climacodium sp. Grunow
Eucampia zodiacus Ehrenberg
Cerataulina pelagica (Cleve) Hendey
Biddulphia biddulphiana (Smith) Boyer
Isthmia enervis Ehrenberg
Isthmia sp. Cleve

Chaetoceraceae

Bacteriastrum comosum Pavillard
B. delicatulum Cleve
B. elegans Pavillard
B. elongatum Cleve
B. hyalinum Lauder
Bacteriastrum sp. Shadbolt
Chaetoceros affinis Lauder
Ch. atlanticus Cleve
Ch. borealis Bailey
Ch. brevis Schutt
Ch. coarctatus Lauder
Ch. compressus Lauder
Ch. curvisetus Cleve
Ch. cf. danicus Cleve
Ch. diversus Cleve
Ch. dydimus Ehrenberg
Ch. laciniosus Schutt
Ch. lorenzianus Grunow
Ch. messanensis Castracane
Ch. peruvianus Brightwell
Ch. tortissimus Gran
Chaetoceros sp.1 Ehrenberg
Chaetoceros sp.2 Ehrenberg
Chaetoceros sp.3 Ehrenberg
Chaetoceros spp. Ehrenberg
Ditylum brightwellii (West) Grunow
Lithodesmium undulatum Ehrenberg
Helicotheca tamesis (Shrubsole) Ricard

Lithodesmiaceae



No identificados Orden Pennales	Eupodiscaceae	<i>Cerataulus</i> cf. <i>smithii</i> Ralfs ex Pritchard <i>C. turgidus</i> (Ehrenberg) Ehrenberg <i>Cerataulus</i> sp. (Ehrenberg) Ralfs in Pritchard <i>Pleurosira laevis</i> (Ehrenberg) Compere cf. <i>Eupodiscus radiatus</i> Bailey <i>Odontella mobiliensis</i> (Bailey) Grunow <i>O. regia</i> (Schulze) Simonsen <i>O. rhombus</i> (Ehrenberg) Kützing <i>O. robusta</i> <i>Odontella</i> sp. Agardh diatomeas céntricas
	Fragilariaceae	<i>Climacosphenia moniligera</i> Ehrenberg <i>Lichmophora ehrenbergii</i> (Kützing) Gran <i>L. cf. grandis</i> (Apelt) <i>L. aff. Hyalina</i> (Apelt) <i>L. cf. paradoxa</i> (Lyngb.) Agardh <i>L. remulus</i> <i>Lichmophora</i> sp.1 (Apelt, 1969). <i>Lichmophora</i> sp.2 (Apelt, 1969). <i>Lichmophora</i> sp.3 (Apelt, 1969). <i>Lichmophora</i> spp. (Apelt, 1969). <i>Asterionellopsis formosa</i> Hassall <i>A. glacialis</i> (Castracane) Round <i>Bleakeleya notata</i> (Grunow) Round <i>Thalassionema</i> cf. <i>capitulata</i> Grunow <i>Th. elegans</i> <i>Th. frauenfeldii</i> (Grunow) Hallegraeff <i>Th. nitzschoides</i> Grunow <i>Thalassionema</i> sp. Grunow <i>Fragilaria longissima</i> <i>Fragilaria</i> sp. Lyngbye <i>Lioloma elongatum</i> (Grunow) Hasle <i>L. pacificum</i> (Cupp) Hasle <i>Toxarium hennedyanum</i> (Gregory) Pelletan <i>Synedra goulardi</i> Bréb <i>S. ulna</i> (Nitzsch) Ehrenberg <i>S. ulna</i> var. <i>Amphyrhyncus</i> (Ehrenberg) Grunow <i>S. undulata</i> (Bailey) Smith <i>Synedra</i> sp. Ehrenberg <i>Neodelphineis pelagica</i> Takano <i>Striatella unipunctata</i> Lyngbye <i>Rhabdonema adriaticum</i> Kützing <i>Plagiogramma decussatum</i> Greville
	Achnantaceae	<i>Achnanthes controversa</i> <i>A. manífera</i> Brun <i>Achnanthes</i> sp. Bory



Naviculaceae

Cocconeis placentula Ehrenberg
Cocconeis sp.1 Ehrenberg
Navicula radiosa Kütz
N. scopulorum (Brébisson ex Kützing) Cox
N. tersa
Navicula sp.1 Bory
Navicula sp.2 Bory
Navicula sp.3 Bory
Navicula spp. Bory
Haslea wawriake (Hustedt) Simonsen
Lyrella clavata (Gregory) Mann
Trachineis aspera Rivkin and Putt
forma naviculoide 3
forma naviculoide 4
Pleurosigma decorum Smith
P. delicatulum Smith
P. hamuliferum Brun et Témperé
P. rhombeum (Sterrenburg) Grunow
P. cf. rigidum Smith
P. strigosum Smith
Pleurosigma sp.A Jorgensen
Pleurosigma sp.2 Jorgensen
Pleurosigma sp.3 Jorgensen
Pleurosigma sp.4 Jorgensen
Pleurosigma sp.5 Jorgensen
Pleurosigma sp.6 Jorgensen
Pleurosigma sp.7 Jorgensen
Pleusigma spp. Jorgensen
Gyrosigma balticum (Ehrenberg) Rabenhorst
G. spathulatum (Kützing) Bornet
G. tenuissimum (Smith) Griffith & Henfrey
Gyrosigma sp.1 Cleve
Gyrosigma sp.2 Cleve
Gyrosigma sp. Cleve
Pinnularia sp.1 Smith
Donkinia recta (Donkin) Grunow
Diploneis bombus (Ehrenberg) Ehrenberg ex Cleve
D. crabro (Ehrenberg) Cleve
D. fusca (Gregory) Cleve
D. subadvena Hust
Mastogloia seychellensis
M. cf. tropical
Mastogloia sp. Thwaites ex Smith
Climaconeis lorenzi Grunow
Stauroneis membranacea (Cleve) Hustedt
Stauroneis sp.1 Ehrenberg



Cymbellaceae

Gomphonema sp. Ehrenberg
Plagiotropis lepidoptera Gregory) Kuntze
Plagiotropis sp.2 Pfitzer
Plagiotropis sp. Pfitzer
Amphora clevei Grunow
A. coffaeiformis (Agardh) Kütz
A. cf. crassa Gregory
A. decussata Grunow
A. aff. jolsatica
A. cf. obtusa Gregory
A. ventricosa Gregory
Amphora sp.1 Ehrenberg ex Kützing
Amphora sp.2 Ehrenberg ex Kützing
Amphora sp.3 Ehrenberg ex Kützing
Entomoneis alata (Ehrenberg) Ehrenberg
Thalassiophysa hyalina Greville

Nitzschiaceae

Bacillaria paxillifera (Muller) Hendley
B. paradoxa (Gmelin) Grunow
Cylindrotheca closterium Ehrenberg
Fragilariopsis doliolus (Wallich) Medlin and Sims
Pseudonitzschia pungens (Grun) Hasle
P. cf. delicatissima (Cleve) Heiden & Kolbe
Pseudonitzschia sp.
Hantzschia amphyoxis (Ehrenberg) Grunow
Nitzschia cf. acuminata (Smith) Grunow
N. cf. braarudii Hasle
N. distans var. *tumesens* Gregory
N. interruptestriata Simonsen
N. aff. laevidensis Hustedt
N. longissima (Brébisson) Ralfs
N. longissima var. *chinensis*
N. obtusa var. *scalpelliformis* Grun
N. panduriformis Gregory
N. panduriformis var. *minor* Grun
N. cf. paralella
N. sicula var. *sicula* (Castracane) Hustedt
N. sigmoidea (Nitzsch) Smith
N. ventricosa Kitton
Nitzschia sp.A Hassall
Nitzschia sp.1 Hassall
Nitzschia sp.2 Hassall
Nitzschia sp.3 Hassall
Nitzschia sp.4 Hassall
Nitzschia sp.5 Hassall
Nitzschia sp.7 Hassall
Nitzschia sp.8 Hassall



Fitoplancton de la Bahía de Santa Marta



	Surirellaceae	<i>Nitzschia</i> sp.9 Hassall <i>Surirella fastuosa</i> Ehrenberg <i>S. gemma</i> Ehrenberg <i>S. kattrayi</i> <i>S. linearis</i> Smith <i>S. cf. smithii</i> Ralfs <i>Campylodiscus limbatus</i> Brébisson <i>Campylodiscus</i> sp. Ehrenberg
No identificados		<i>Diatomea pennada</i> 1 <i>Diatomea pennada</i> 2 <i>Diatomea pennada</i> 3 <i>Diatomea pennada</i> 4 <i>Diatomea pennada</i> 5 <i>Diatomea pennada</i> 6 <i>Diatomea pennada</i> 7 <i>Diatomea pennada</i> 8 <i>Diatomea pennada</i> 13 <i>Diatomea pennada</i> 14 <i>Diatomeas pennadas</i>
DINOFLAGELADOS		
Orden Prorocentrales		<i>Pyrocistis robusta</i> Kofoid <i>Prorocentrum compressum</i> (Bailey) Abé ex Dodge <i>P. cf. cordatum</i> Ostenfeld & Velikova <i>P. dentatum</i> Stein <i>P. gracile</i> Schütt <i>P. micans</i> Ehrenberg <i>P. sigmoides</i> Bohm <i>P. cf. triestinum</i> Schiller
Orden Dinophysoidea	Amphisolenidae	<i>Amphisolenia bidentata</i> Schröder <i>A. bifurcata</i> Murray & Whiting <i>A. cf. clavipes</i> Kofoid <i>A. globifera</i> Stein
	Dinophysidae	<i>Dinophysis caudata</i> Saville-Kent <i>D. cuneus</i> (Schütt) Abé <i>D. diegensis</i> Kofoid <i>D. doryphora</i> Stein <i>D. hindmarchi</i> (Murray & Whiting) Balech <i>D. mitra</i> (Schütt) Abe
	Ornithocercidae	<i>Ornithocercus magnificus</i> Stein <i>O. quadratus</i> Schütt <i>O. splendidus</i> Schütt <i>Histioneis cf. dolon</i> Murray & Whitting
Orden Peridiniales	Oxitoxidae	<i>Oxyphysis oxytoxoides</i> Kofoid <i>Corythodinium diploconus</i> (Stein) Taylor <i>Oxytoxum milneri</i> Murray & Whitting <i>O. scolopax</i> Stein





Ceratiidae

- O. turbo* Kofoid
Oxytoxum sp. Murray & Whitting
Ceratium azoricum Cleve
C. belone Cleve
C. candelabrum (Ehrenberg 1859) Stein
C. carriense Gourret
C. contortum (Gourret) Cleve
C. contrarium (Gourret) Pavillard
C. euarcuatum Joergensen
C. falcatifforme Joergensen
C. furca (Ehrenberg) Claparède et Lachmann
C. furca var. *berghii* (Ehrenberg) Claparède et Lachmann
C. fusus seta (Ehrenberg) Jörgensen
C. geniculatum (Lemmermann 1900) Cleve 1901
C. gibberum Gourret
C. hircus Schroder
C. horridum horridum (Cleve) Gran
C. horridum molle (Kofoid, 1907) Jörgensen
C. kofoidii Jörgensen
C. limulus Gourret
C. lineatum (Ehrenberg) Cleve
C. longirostrum Gourret
C. lunula (Schimper, 1910) Jörgensen
C. macroceros gallicum (Kofoid) Sournia
C. macroceros macroceros (Ehrenberg) Vanhoeffen
C. massiliense armatum (Karsten) Jörgensen
C. pentagonum Gourret
C. cf. praelongum (Lemmerman) Kofoid & Jörgensen
C. symmetricum Pavillard
C. tenue Ostenfeld & Schmidt
C. teres Kofoid
C. tenuissimum Kofoid
C. trichoceros (Ehrenberg) Kofoid
C. tripos (Müller) Nitzsch
C. tripos tripodiodes Jörgensen
C. vultur Cleve
C. vultur japonicum (Schr.) Wood
Heterodinium angulatum Kofoid & Michener
Ceratocorys armata (Schütt) Kofoid
C. horrida Stein
Gonyodoma polyhedricum (Pouchet) Claparède & Lachmann
Alexandrium cf. *minutum* Halim
Gonyaulax digitalis (Pouchet) Kofoid
G. polygramma Stein
G. spinifera (Claparède et Lachmann) Diesing
G. verior Sournia

Heterodiniidae

Ceratocorycidae

Gonyaulacidae



Protopteridiniidae

Gonyaulax sp.1 Diesing
Gonyaulax sp.2 Diesing
Oblea cf. *baculiferan* Balech, ex Loeblich & Loeblich
Diplopsalopsis bomba (Stein ex. Jørgensen) Dodge et Toriumi
Diplopelta assimetrica (Mangin) Balech
Protopteridinium abei (Paulsen) Balech
P. aspidiotum (Bal.) Bal
P. balechii (R. Akselman) Balech
P. cf. brochi (Kofoid et Swezy) Balech
P. cf. cassum (Balech) Balech
P. claudicans (Paulsen) Balech
P. conicum concavum (Mangin) Balech
P. conicum conicum (Gran) Balech
P. corniculum (Kofoid & Michener) Taylor & Balech
P. curtipes Jørgensen) Balech
P. cf. divergens (Ehrenberg) Balech
P. elegans (Cleve) Balech
P. cf. exaggeratum Balech
P. cf. granii (Ostenfeld) Balech
P. hamatum Balech
P. cf. heteracanthum (Dangeard) Balech
P. aff. hirobis Abé
P. latidorsale (Dangeard) Balech
P. melo (Balech) Balech
P. aff. mite (Pavillard) Balech
P. norpacense Baleen
P. obtusum (Karsten) Parke et Dodge
P. oceanicum (Vanhöffen) Balech
P. cf. pacificum (Kofoid & Michener) Taylor & Balech
P. pentagonum (Gran) Balech
P. punctulatum (Paulsen) Balech
P. cf. pyrum (Balech) Balech
P. quamerense (Schöder) Balech
P. cf. rectum (Kofoid) Balech
P. cf. simulum (Paulsen) Balech
P. solidicorne (Mangin) Balech
P. steidingueræ Balech
P. cf. steinii (Jørgensen) Balech
P. subesphaericum (Broch) Balech
P. symmetricum (Halim) Balech
P. venustum (Matzenauer) Balech
Protopteridinium sp.J Bergh
Protopteridinium sp.1 Bergh
Protopteridinium sp.2 Bergh
Protopteridinium sp.3 Bergh
Protopteridinium sp.4 Bergh



Fitoplancton de la Bahía de Santa Marta



Dadma-Unimag
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN EN DESARROLLO TECNOLÓGICO Y CIENTÍFICO PARA EL MANEJO DEL AMBIENTE

No Identificados	Peridiniiae	<i>Protoperidinium</i> spp. Bergh
	Podolampidae	cf. <i>Scrippsiella trochoidea</i> (Stein) Loeblich III
		<i>Podolampas elegans</i> Schütt
		<i>P. palmipes</i> Stein
		<i>P. spinifer</i> Okamura
	Pyrophacacidae	<i>Pyrophacus horologium</i> Stein
		<i>Pyrophacus</i> sp. Steinii (Schiller)
		Dinoflagelado 1
		Dinoflagelado 2
		Dinoflagelado 3
		<i>Hermesinum adriaticum</i> Zacharias
SILICOFLAGELADOS		
	Dictyochophyceae	<i>Dictyocha calida</i> Poelchau
		<i>D. octonaria</i> (Ehrenberg) Hovasse
		<i>D. polyactis</i> Ehrenberg
CIANÓFITAS		
Orden Nostocales	Nostocaceae	<i>Chroococcus</i> sp. Nägeli
		<i>Anabaena</i> sp. Bory
		<i>Pseudoanabaena acicularis</i>
		<i>Pseudoanabaena</i> sp. Lauterborn
		<i>Cylindrospermum</i> sp. Kützing
		<i>Rhichelia intracellularis</i>
		<i>Iojobannesbaptistia willei</i>
		<i>Limnothrix planctonica</i> (Woloszynska) Meffert
Orden Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Lyngbya</i> sp. Agardh
		<i>Oscillatoria</i> sp. Vaucher
		cf. <i>Borzia</i> sp. Gomont
COCOLITOFÓRIDOS		
Orden Coccolithophorales	Braarudosphaeraceae	<i>Braarudosphaera bigelowii</i> (Gran et Braarud) Deflandre
	Calciosoleniaceae	<i>Anoplosolenia brasiliensis</i> (Lohmann) Deflandre
		<i>Calciosolenia murrayi</i> Gaarder et Hasle
No identificados		Coccolithophoridos
CLORÓFITAS		
Orden Zygnematales		<i>Scenedesmus</i> sp. Meyen
		<i>Closterium</i> sp. Ralfs
		<i>Halosphaera viridis</i> Schmitz
OTROS (Flagelados)		
		<i>Danasphaera indica</i> Cleve



Anexo 4. Concentraciones máximas y mínimas de clorofila *a* para diferentes regiones de la cuenca del gran Caribe y la costa Caribe colombiana. Cl a: Clorofila *a*.

Región (Longitud/Latitud)	Autores	Tipo de Agua	min-max Cl a (µg/l)
Cuenca del Caribe			
Plataforma continental de Venezuela (70°W/12°N)	Rodríguez y Varela (1987)	Costera y Oceánica, zona de surgencia	0,1 - 5,2
Golfo de México (90°W/28°N)	Bianchi et al (1995)	Costera y oceánicas	0,15 - 2,85
Bahía de Florida (80°W/25°N)	Philips y Badylak (1996)	Costera	0,2 - 39,9
Costa de Hellshire, sureste de Jamaica (76°W/17°N)	Webber y Roff (1996)	Costera	0,70 - 2,64
Costa Caribe Colombiana			
Parque Nacional Natural Corales del Rosario (75°W/12°N)	Franco et al (1992)	Oceánica	0,01 - 0,08
Guajira (71°W/12°N)	Duarte (1996)	Costera, zona de surgencia	0,76 - 1,52
Bahía de Cartagena (71°W/12°N)	Arias y Durán (1996)	Costera	0,20 - 19,25
Golfo de Salamanca	Franco (2001)	Costera	7,6- 96,1
Parque Nacional Natural Tayrona (75°W/10°N)		Costera	7,2 - 75,0
Ensenada del Rodadero (74°W/11°N)	Barragán et al (2003)	Costera	0,10 - 4,38
Ensenada del Rodadero (74°W/11°N)	Campos et al (2004)	Costera	0,21 - 2,24
Bahía de Santa Marta (74°W/11°N)	Presente Estudio	Costera	0,175-6,672

